



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - TL 141584**

# **ANALISIS PENGARUH DESAIN PROYEKTIL DAN MUZZLE VELOCITY TERHADAP TERMINAL BALISTIK GELATIN PELURU FRANGIBLE DENGAN MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA**

Heti Pratiwi

NRP 02511440000045

Dosen Pembimbing

Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si.

Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T.

Departemen Teknik Material

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2018



**TUGAS AKHIR - TL141584**

# **ANALISIS PENGARUH DESAIN PROYEKTIL DAN MUZZLE VELOCITY TERHADAP TERMINAL BALISTIK GELATIN PELURU FRANGIBLE DENGAN MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA**

Heti Pratiwi  
NRP 02511440000045

Dosen Pembimbing :  
Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si.  
Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2018

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



**FINAL PROJECT - TL141584**

# **INFLUENCE OF PROJECTILE DESIGN AND MUZZLE VELOCITY OF ANALYSYS TO TERMINAL BALLISTIC GELATIN FRANGIBLE BULLET BY USING FINITE ELEMENT METHOD**

Heti Pratiwi  
NRP 02511440000045

Advisor :

Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si.

Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T.

DEPARTMENT OF MATERIAL ENGINEERING  
Faculty Of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute Of Technology  
Surabaya  
2018

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

**ANALISIS PENGARUH DESAIN PROYEKTIL DAN  
MUZZLE VELOCITY TERHADAP TERMINAL  
BALISTIK GELATIN PELURU FRANGIBLE  
DENGAN MENGGUNAKAN METODE ELEMEN  
HINGGA**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Sarjana Teknik  
Pada  
Bidang Studi Material Inovatif  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :  
**Heti Pratiwi**  
**NRP 02511440000045**

Disetujui oleh tim penguji tugas akhir :

Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si..... (Pembimbing I)

Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T..... (Pembimbing II)



# **ANALISIS PENGARUH DESAIN PROYEKTIL DAN MUZZLE VELOCITY TERHADAP TERMINAL BALISTIK GELATIN PELURU FRANGIBLE DENGAN MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA**

Nama Mahasiswa : Heti Pratiwi  
NRP : 02511440000045  
Jurusan : Departemen Teknik Material  
Dosen Pembimbing : Dr. Widyastuti S.Si, M.Si  
Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T

## **Abstrak**

Peluru konvensional dapat menimbulkan terjadinya *ricochet* dan *backsplash*. Peluru *frangible* adalah salah satu jenis peluru yang tidak menimbulkan efek *ricochet* dan *backsplash*. Hal ini dikarenakan peluru *frangible* akan terpisah menjadi fragmen-fragmen kecil ketika mengenai target keras. Balistik gelatin merupakan bagian dari terminal balistik dimana target yang digunakan adalah medium yang lebih padat daripada air yang biasa disebut dengan gelatin. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis nilai balistik terminal gelatin akibat pengaruh desain dan variasi *muzzle velocity* dengan menggunakan metode elemen hingga. Dari hasil simulasi yang telah dilakukan dengan variasi *muzzle velocity* dan desain yang berbeda didapatkan total penetrasi pada desain peluru I secara berurutan yaitu sebesar 175 mm, 190 mm dan 193 mm. Sedangkan total penetrasi yang diperoleh dari hasil simulasi desain peluru II secara berturut-turut sebesar 200 mm, 220 mm dan 230 mm. Desain peluru I diameter *temporary cavity* secara berturut-turut adalah 19 mm, 23 mm dan 30 mm. Sedangkan untuk desain peluru II diameter *temporary cavity* secara berturut-turut adalah 21 mm, 24 mm dan 11 mm. Dari dua desain peluru yang

ada, total penetrasi yang dihasilkan tidak sesuai dengan standar. Diperlukan desain baru dengan menambahkan radius kelengkungan proyektil sehingga koefisien bentuk proyektil berada pada rentang  $0.5 < i < 1$  untuk desain peluru I agar penetrasi yang dihasilkan memenuhi standar.

***Kata Kunci : Bentuk Proyektil, Balistik Gelatin, Metode Elemen Hingga***





# **INFLUENCE OF PROJECTILE DESIGN AND MUZZLE VELOCITY OF ANALYSIS TO TERMINAL BALLISTIC GELATIN FRANGIBLE BULLET BY USING FINITE ELEMENT METHOD**

Name : Heti Pratiwi  
NRP : 02511440000045  
Department : Material Engineering  
Advisor 1 : Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si.  
Advisor 2 : Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T

## **ABSTRACT**

*The conventional bullets are made of various lead alloys (Pb) because its density is relatively higher than other metals, so as to produce bullets with great momentum. The conventional bullets can cause ricochet and backsplash. Frangible bullet is one of type bullet that does not cause ricochet and backsplash effects. This is because the frangible bullet will separate into small fragments when it comes to hard targets. Ballistic gelatin is part of the ballistic terminal where the target used is a medium that is more dense than water commonly referred to as gelatin. The purpose of this research is to analyze the ballistic value of gelatin terminal due to the influence of design and variation of muzzle velocity using finite element method. From simulation result which have been done with variation of muzzle velocity and different design obtained total penetration on bullet design I in sequence that is equal to 175 mm , 190 mm and 193 mm. While the total penetration obtained from the simulation results of bullet II designs are 200 mm, 220 and 230 mm respectively. The bullet design I diameter of temporary cavity is 19 mm, 23 mm and 30 mm, respectively. While for the design of bullet II the diameter of temporary cavity are 21 mm, 24 mm and 11 mm, respectively. Of the two existing bullet designs, the resulting total penetration does not conform to existing standards. New design is required by*

*adding a projectile curvature radius so that the projectile form coefficient is in the range of  $0.5 < i < 1$  so that the resulting penetration meets the existing standards.*

***Keywords : Shape of Projectile, Gelatin Ballistic, Finite Element Method***

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya, tidak lupa shalawat serta salam penulis panjatkan kepada Nabi Muhammad SAW sehingga penulis diberi kesempatan untuk menyelesaikan Tugas Akhir. Tugas Akhir ditujukan untuk memenuhi mata kuliah wajib yang harus diambil oleh mahasiswa Departemen Teknik Material Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), penulis telah menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “**Analisis Pengaruh Desain Projektil dan Muzzle Velocity Terhadap Terminal Balistik Gelatin Peluru Frangible Dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga**”. Penulis ingin berterima kasih juga kepada :

1. Allah SWT atas karunia, rahmat, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan lancar.
2. Kedua Orang Tua, yang telah mendukung secara moril maupun materil serta doa yang selalu dipanjatkan demi kesehatan, keselamatan dan kelancaran anaknya dalam menempuh studi.
3. Kakak saya yaitu Mas Heru dan Mas Irul yang telah membantu dan medo’akan saya dalam mengerjakan laporan tugas akhir ini
4. Bapak Dr. Agung Purniawan, S.T, M.Eng., selaku Ketua Departemen Teknik Material FTI-ITS.
5. Ibu Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan bekal yang sangat bermanfaat.
6. Ibu Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T. selaku dosen Pembimbing 2 yang telah memberikan banyak ilmu.
7. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Material FTI-ITS.
8. Tim Peluru *Frangible* yang sudah membantu saya dalam memberikan ilmunya.

9. Sahabat-sahabat terbaik saya “Tipis” yang selalu memberikan canda dan tawa baik suka maupun duka.
10. Teman-teman Lab. Komputasi dan Fisika Material Habib dan Fajriansyah yang sudah banyak memberi saran serta ilmu untuk tugas akhir saya.
11. Keluarga MT 16 yang banyak memberikan saya pengalaman berharga selama di Departemen Teknik Material.
12. Dan seluruh pihak yang telah memberikan partisipasi dalam tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam pembuatan laporan ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik yang membangun dari pembaca demi perbaikan dan kemajuan bersama.

Surabaya, 21 Juni 2018

Penulis,  
Hetii Pratiwi

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	v
ABSTRAK .....	vii
KATA PENGANTAR .....	xi
DAFTAR ISI .....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xv
DAFTAR TABEL .....	xvii

### BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	4
1.5 Manfaat Penelitian .....	4

### BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Peluru .....	6
2.2 Peluru <i>Frangible</i> .....	13
2.3 Balistik .....	16
2.4 Terminal Balistik .....	19
2.5 Metode Elemen Hingga .....	25
2.6 <i>Explicit Dynamics</i> .....	27

### BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian .....	32
3.2 Desain Penelitian .....	33
3.3 Spesifikasi Material .....	33
3.4 Peralatan .....	35
3.5 Proses Penelitian .....	36

**BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**

4.1 Analisa Data dan Pembahasan ..... 42

4.1.1 Perhitungan Kecepatan Awal Hasil Interpolasi .....42

4.1.2 Pengujian Eksperimen dan Simulasi .....48

**BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1 Kesimpulan .....60

5.2 Saran ..... 60

**DAFTAR PUSTAKA .....59**

**LAMPIRAN**

**BIODATA PENULIS**

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1.</b>	Bagian-bagian Peluru.....	6
<b>Gambar 2.2.</b>	Skema Terjadinya <i>Richochet</i> .....	7
<b>Gambar 2.3.</b>	Tipe Desain Amunisi <i>Handgun</i> .....	8
<b>Gambar 2.4.</b>	Tipe Desain Amunisi <i>Rifle</i> .....	9
<b>Gambar 2.5.</b>	Bagian-bagian <i>Shotgun Shell</i> .....	9
<b>Gambar 2.6.</b>	<i>Jacketed Bullet</i> .....	11
<b>Gambar 2.7.</b>	Peluru Tidak Berjaket .....	11
<b>Gambar 2.8.</b>	Bagian-bagian Proyektil.....	13
<b>Gambar 2.9.</b>	Peluru <i>frangible</i> (Cu) Kaliber 9 mm .....	14
<b>Gambar 2.10.</b>	Profil Luka Tembak Balistik Gelatin .....	24
<b>Gambar 2.11.</b>	Skema <i>Explicit Dynamics</i> .....	28
<b>Gambar 3.1.</b>	Diagram Alir Penelitian .....	32
<b>Gambar 3.2.</b>	Desain Peluru I.....	34
<b>Gambar 3.3.</b>	Desain Peluru II .....	34
<b>Gambar 3.4.</b>	Desain Peluru gelatin .....	35
<b>Gambar 3.5.</b>	<i>Start ANSYS WORKBENCH 18.1</i> .....	36
<b>Gambar 3.6.</b>	Hasil <i>Meshless</i> Peluru Frangible .....	37
<b>Gambar 3.7.</b>	Hasil meshless Geometri Target .....	38
<b>Gambar 3.8.</b>	Pemodelan Kontak Peluru Frangible.....	39
<b>Gambar 4.1.</b>	Hasil Pengujian Penetrasi .....	48
<b>Gambar 4.2.</b>	Hasil Simulasi Peluru Desain I Dengan Variasi Kecepatan Awal Peluru .....	50
<b>Gambar 4.3.</b>	Hasil Simulasi Peluru Desain II Dengan Variasi Kecepatan Awal Peluru.....	52
<b>Gambar 4.4.</b>	Grafik Perbandingan Kedalaman Penetrasi dari Dua Desain Peluru .....	53
<b>Gambar 4.5.</b>	Grafik Deformasi Arah Sumbu $x$ Hasil Simulasi Peluru Desain I dengan Variasi Kecepatan ...	55
<b>Gambar 4.6.</b>	Grafik Deformasi Arah Sumbu $x$ Hasil Simulasi Peluru Desain II dengan Variasi Kecepatan ...	56



**Gambar 4.7.** Grafik perbandingan *temporary cavity* dari dua desain peluru. .... 57

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1.</b>	Karakteristik Peluru <i>Frangible</i> .....	15
<b>Tabel 2.2.</b>	Sifat Mekanik Peluru <i>Frangible</i> .....	16
<b>Tabel 3.1.</b>	<i>Mechanical Properties</i> Peluru <i>Frangible</i> .....	34
<b>Tabel 3.2.</b>	Sifat Fisik dan Mekanik Gelatin.....	35
<b>Tabel 4.1.</b>	Kondisi Wilayah Kabupaten Malang .....	42
<b>Tabel 4.2.</b>	Faktor Perubahan Kecepatan Desain I .....	45
<b>Tabel 4.3.</b>	Data Kecepatan Awal Peluru Desain I Pada Jarak 2.995m .....	46
<b>Tabel 4.4.</b>	Faktor Perubahan Kecepatan Desain II .....	46
<b>Tabel 4.5.</b>	Data Kecepatan Awal Peluru Desain II Pada Jarak 2.995m.....	47

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1. Latar Belakang**

Pada umumnya, peluru konvensional terbuat dari berbagai paduan timbal (Pb). Pada umumnya, peluru konvensional terbuat dari berbagai paduan timbal (Pb). Hal ini dikarenakan berat jenisnya yang relatif lebih tinggi daripada logam lainnya, sehingga mampu menghasilkan peluru dengan momentum yang besar. Momentum yang besar membutuhkan massa dan kecepatan yang besar. Semakin tinggi momentum proyektil ketika meluncur di udara, maka tingkat akurasi proyektil semakin baik (Metrima, 2015). Maka dari itu timbal dipilih sebagai material proyektil. Namun timbal menyebabkan masalah yang sangat serius bagi lingkungan dan kesehatan manusia. Timbal merupakan salah satu bahan penyumbang polusi bagi lingkungan. Ledakan mesiu yang terjadi di dalam kelongsong menyebabkan sedikit logam timbal terbakar dan menghasilkan asap yang keluar dari senapan, sedangkan jarak penembak dengan senapan relatif dekat, sehingga menyebabkan asap tersebut terhirup oleh penembak (Nadkarni, 2003). Peluru konvensional dapat berpotensi mengalami *ricochet* dan *backsplash*. Hal ini dikarenakan proyektil yang keluar dari laras memiliki kecepatan yang tinggi dan energi kinetik yang tinggi pula, sehingga ketika proyektil menghantam target yang lebih keras, proyektil akan terdeformasi dan memantul ke sembarang arah. Hal ini membahayakan bagi penembak.

Salah satu jenis peluru yang tidak menimbulkan terjadinya *ricochet* dan *backsplash* yaitu peluru jenis *frangible* (Antonio, 2013). Peluru *frangible* adalah jenis peluru yang mudah pecah menjadi fragmen-fragmen kecil ketika menghantam target yang lebih keras darinya dan minim bahaya (Joys, 2012). Peluru *frangible* dalam penggunaannya terbatas pada jarak yang dekat dan banyak diaplikasikan untuk kegiatan latihan menembak (Vicko, 2014). Material pengganti timbal yang digunakan untuk membuat peluru *frangible* adalah paduan Cu-Sn dengan menggunakan



metode metalurgi serbuk, kemudian dikompres kedalam bentuk yang diinginkan. Untuk meningkatkan kinerjanya, maka peluru ini juga dilakukan proses sintering (Mikko, 2000).

Balistik merupakan ilmu pengetahuan terapan yang berhubungan dengan eksperimen dan teori mengenai penembakan proyektil yang disertai gerakan atau lintasan dan fenomena yang terjadi ketika proyektil tersebut menghantam suatu target (Eddy S. Siradj, 2010). Pengujian balistik dilakukan untuk mengetahui kualitas dan keamanan dari objek balistik (Buhrle Zurich, 1981). Ilmu balistik dibagi menjadi tiga yaitu balistik dalam (*internal ballistic*), balistik luar (*external ballistic*) dan balistik akhir (*terminal balistik*). Fenomena yang terjadi didalam balistik internal akan berdampak pada balistik selanjutnya (Mia, 2017). Gelatin tes merupakan bagian dari terminal balistik dengan menggunakan target gelatin dimana gelatin ini berfungsi sebagai jaringan manusia atau hewan.

Sejauh ini, riset mengenai peluru *frangible* ini masih dilakukan secara eksperimental. Riset dengan cara ini tergolong mahal karena harus menyediakan alat dan bahan untuk eksperimen dan juga memerlukan waktu yang lama untuk mencapai akurasi yang tepat karena parameternya dapat berubah-ubah setiap percobaan. Hal ini berbanding terbalik dengan penelitian numerikal yang masih sangat jarang dilakukan. Padahal apabila dibandingkan dengan riset eksperimental, cara numerikal memiliki beberapa keunggulan, diantaranya dari segi pembiayaan serta parameter yang dimasukkan tergolong konstan.

## 1.2. Perumusan Masalah

Perumusan masalah dari penelitian ini adalah bagaimana pengaruh desain proyektil dan variasi *muzzle velocity* terhadap balistik terminal gelatin dengan menggunakan metode elemen hingga?



### 1.3. Batasan Masalah

Agar didapatkan hasil akhir yang baik dan sesuai dengan tujuan penelitian serta tidak menyimpang dari permasalahan yang ditinjau, maka batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Material penyusun *frangible bullet* yang ditembakkan adalah Cu10%wt-Sn
- b. Desain bentuk proyektil dari masing-masing desain adalah desain yang optimum
- c. Jarak tembak yang digunakan pada pemodelan menjadi 0,005 m. Jarak tembak diperdekat karena perlambatan yang dialami oleh peluru pada jarak 0,005 m dibandingkan dengan jarak 3 m relatif kurang signifikan. Selain itu pemendekan jarak dilakukan agar proses pembuatan geometri dan pendefinisian kontak lebih mudah, karena penggunaan jarak yang sebenarnya menyebabkan peluru dan target tidak tampak di tampilan layar ANSYS
- d. *Muzzle velocity* dari pemodelan dibuat berdasarkan asumsi berdasarkan interpolasi dari masing-masing variasi kecepatan yang digunakan.

### 1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis nilai balistik terminal gelatin akibat pengaruh desain proyektil dan variasi *muzzle velocity* dengan menggunakan metode elemen hingga.

### 1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan mampu memberikan analisis perhitungan komputasi dan gambaran simulasi mengenai pengaruh *muzzle velocity* terhadap *wound profile* gelatin Selain itu, penelitian ini dilakukan sebagai inovasi untuk industri pertahanan dan persenjataan.



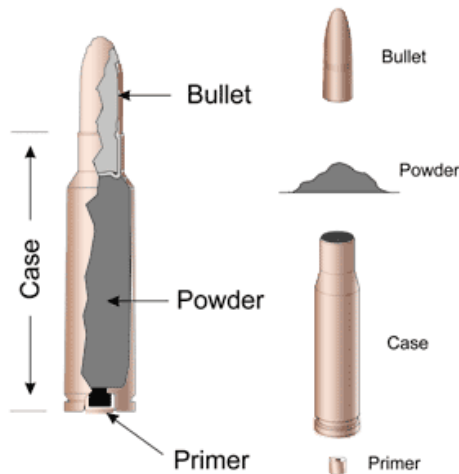
*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Peluru

Peluru terdiri dari proyektil (*bullet*), kelongsong (*bullet base*), mesiu (*propellant*) dan pematik (*rim*). Proyektil adalah bagian dari peluru atau amunisi yang terbang di udara ketika ditembakkan dan bergerak dengan tidak dorongannya sendiri (Mia, 2017). Proyektil terdiri dari ujung (*nose*), jaket dan inti (*core*) (Gita, 2013)



Gambar 2.1 Bagian - bagian peluru (*New Jersey Defense Academy*)

Menurut Jorma Jussila (2005) mekanisme kerja peluru didalam laras dibagi menjadi tiga tahapan yaitu tahapan pertama, primer dipukul oleh pematik yang menimbulkan percikan api yang kemudian menyebabkan mesiu terbakar. Tahapan kedua yaitu, ledakan mesiu menimbulkan adanya tekanan gas dan mendorong proyektil terlepas dari cengkraman kelongsong. Tahapan ketiga yaitu proyektil meluncur keluar dari laras.





Proyektil yang ditembakkan, berpotensi tidak menghantam target akan tetapi menghantam benda keras yang lainnya sehingga menyebabkan terjadinya *ricochet*. Peluru yang menyebabkan terjadinya *ricochet* ini disebut dengan peluru konvensional.



Gambar 2.2 Skema terjadinya *ricochet* (Metrima, 2015)

Hal ini dikarenakan proyektil yang keluar dari laras memiliki kecepatan dan kecepatan sudut. Kecepatan yang tinggi menyebabkan proyektil memiliki energi kinetik yang tinggi pula. Saat proyektil menghantam benda yang lebih kuat dan keras dari kekuatan dan kekerasan proyektil tersebut, proyektil akan terdeformasi dan memantul ke sembarang arah. Dengan arah pantulan yang tidak beraturan, proyektil berpotensi memantul ke arah penembak atau disebut dengan *backslpash* (Metrima, 2015).

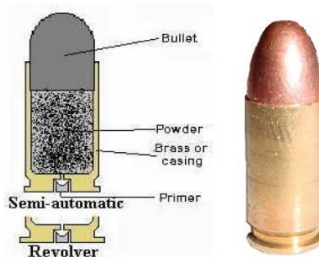
### 2.1.1 Tipe Desain Amunisi

Ada beberapa tipe desain amunisi. Hal ini disesuaikan dengan tipe senjata yang akan digunakan. Beberapa senjata yang akan menggunakan satu tipe amunisi. Setiap tipe amunisi memiliki karakteristik yang berbeda sesuai dengan kebutuhannya. Berikut adalah tipe dasar dari desain amunisi :



- **Handgun**

*Handgun* adalah desain amunisi yang sangat sederhana. Ada sedikit perbedaan di bagian *shell*. Bagian *shell* ini adalah bagian *casing* yang terbuat dari brass atau kuningan. Pada gambar 2.3 disajikan gambar desain dari amunisi *handgun*.



Gambar 2.3 Tipe desain amunisi *handgun* (Briand, 2008)

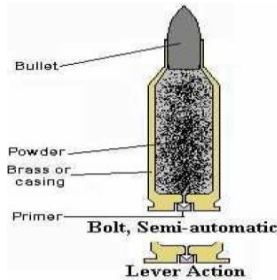
Sisi primer dari putaran pistol lebih sempit daripada *revolver*. Sebuah pistol harus mengeluarkan *shell* setelah proyektil ditembakkan dan memuat ulang peluru yang akan ditembakkan dalam sepersekian detik. Dengan demikian, diameter dari *shell* harus sama agar memudahkan transisi yang bagus dari klip menuju ke *chamber*. Pada *revolver*, kelongsong dikeluarkan secara manual.

- **Rifle**

Desain putaran dari *rifle* sama seperti pistol pada jenis tipe amunisi *handgun*. Yang membedakan *rifle* dengan *handgun* adalah jumlah bubuk mesiu didalam *casing*. Jumlah bubuk mesiu pada tipe amunisi *rifle* lebih banyak dibandingkan dengan tipe amunisi *handgun*. Hal ini dikarenakan tipe amunisi *rifle* didesain untuk peluru jarak jauh dengan akurasi yang lebih baik sehingga membutuhkan *muzzle velocity* yang besar. *Muzzle velocity* dipengaruhi oleh tekanan propelan dan laras. Semakin tinggi tekanan propelan yang dihasilkan dan semakin panjang laras, maka *muzzle velocity* yang dihasilkan tinggi. Hal ini mempengaruhi



tingkat akurasi sebuah amunisi. Berikut disajikan gambar 2.4 tipe desain amunisi *rifle*.

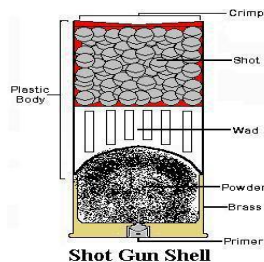


Gambar 2.4 Tipe desain amunisi *rifle* (Briand, 2008)

*Bolt, semi automatic* pada senapan *rifle* bekerja seperti dengan pistol semi automatic pada pistol amunisi *handgun*, sedangkan *lever action* sama hal nya bekerja seperti *revolver* pada amunisi *handgun*.

- **Shot Gun Shell**

Tipe amunisi *shot gun shell* memiliki desain yang hampir sama dengan *handgun* dan *rifle*, namun ada beberapa perbedaan. Bagian seluruh peluru lebih besar dan lebih luas untuk menampung primer yang lebih besar, bubuk mesiu yang lebih banyak, wad dan *shot*.



Gambar 2.5 Bagian-bagian *shot gun shell* (Briand, 2008)



Untuk mencapai kecepatan proyektil saat keluar maksimal, *wad* digunakan untuk memberi keseragaman tekanan pada *shot* ketika bubuk mesiu meledak. Primer yang lebih besar digunakan untuk membakar bubuk dengan jumlah yang lebih banyak dalam waktu yang singkat.

### 2.1.2 Kategorisasi Proyektil

Pada umumnya, material proyektil terbuat dari berbagai paduan timbal (Pb). Timbal biasanya dipadukan dengan Cu, Zn, Ag, dan material lainnya. Timbal tersebut dipilih sebagai material proyektil karena *dense* (rapat), mudah dibentuk dan ketersediannya di alam luas. Namun, timbal menyebabkan masalah yang sangat serius bagi lingkungan dan kesehatan manusia. Masalah tersebut timbul karena debu dari timbal terhirup oleh manusia dan timbal hasil dari proyektil yang telah ditembakkan akan terakumulasi dalam tanah dan larut ke dalam permukaan air dan air dalam tanah (Gita, 2013).

Peluru konvensional dapat berpotensi mengalami *ricochet* dan *backsplash*. Permasalahan ini menyebabkan munculnya berbagai riset untuk mencari cara meminimalkan resiko *ricochet* dan *backsplash* serta mencari material pengganti timbal untuk material proyektil. Dalam perkembangan amunisi modern, proyektil telah dibuat dengan berbagai macam bentuk dan material yang berbeda. Hal ini dilakukan untuk memenuhi karakteristik dari proyektil yang disesuaikan dengan kebutuhannya.

1. Menurut *Brian J. Heard* (2008), proyektil dikelompokkan menjadi 2 berdasarkan komposisi peluru.

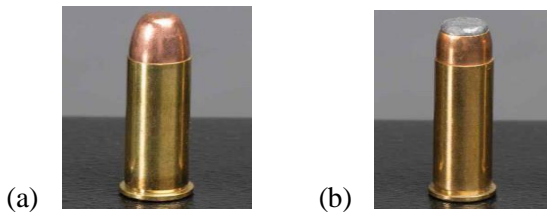
#### a. *Jacketed Bullet*

Proyektil berjaket adalah proyektil yang memiliki lapisan tipis untuk menutupi bagian inti timbal proyektil (*core*). Berdasarkan bagian proyektil yang dilapisi oleh jaket dibagi menjadi 2 yaitu FMJ (*Full Metal jacket*) dan *Partially Jacket*. FMJ (*Full Metal jacket*) adalah proyektil yang seluruh bagiannya di lapisi oleh jaket. Jaket ini berfungsi sebagai lapisan untuk



melindungi bentuk dari proyektil dan meminimalisasi bahaya pengaruh dari timbal serta meningkatkan penetrasi. Pada umumnya jenis proyektil ini dikembangkan untuk aplikasi di dunia militer.

*Partially Jacket* adalah jenis proyektil yang tidak seluruh bagian dari proyektil ditutupi oleh jaket. Bagian yang tidak tertutupi oleh jaket adalah nose atau point proyektil. Proyektil jenis ini sangat baik untuk berburu. Hal ini dikarenakan peluru jenis *partially jacket* membunuh hewan dengan cepat.



Gambar 2.6 (a) *Full Metal Jacket* (b) *Partially Jacket* (Parents Against Gun Violence)

*b. Unjacketed Bullet*

Proyektil tidak berjaket atau *unjacketed bullet* adalah proyektil yang tidak memiliki jaket atau seluruh bagian dari proyektil tidak dilapisi dari paduan tembaga. Proyektil jenis ini akan terdeformasi ketika menghantam sebuah target dengan resiko *ricochet* yang relatif lebih rendah. Ini adalah jenis proyektil yang lebih murah dibandingkan dengan proyektil jenis lainnya dengan fungsi proyektil yang mengutamakan *target shooting*. Proyektil jenis ini juga dapat digunakan untuk pertahanan diri atau berburu.



Gambar 2.7 Peluru tidak berjaket (*Parents Against Gun Violence*)



2. *Brian J. Heard* (2008), mengkategorikn lagi proyektil berdasarkan bahaya dari material proyektil. *Brian* mengkategorikan menjadi 3 yaitu *lead bullet*, *non-toxic bullet* dan *frangible bullet*.

a. *Lead Bullet*

*Lead Bullet* adalah peluru yang proyektilnya berbahan dasar timbal. Peluru jenis ini sangat berbahaya karena berpotensi terjadinya *ricochet* dan *backsplash*. Selain itu timbal merupakan salah satu bahan penyumbang polusi bagi lingkungan. Pengaruh yang dirasakan tidak hanya terhadap lingkungan tetapi juga terhadap kesehatan manusia. Standar Nasional Bureau (US) menyatakan bahwa 80% timbal di udara berasal dari proyektil.

b. *Non-Toxic Bullet*

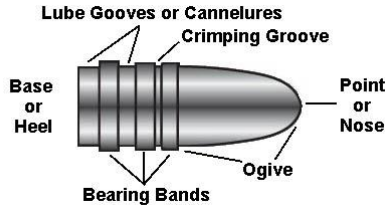
Peluru jenis ini memiliki material proyektil yang tidak berbahaya atau disebut dengan *lead free bullet*. Material proyektil yang digunakan bersifat *non-toxic* seperti serbuk besi, *zinc*, tungsten, tembaga, bismuth dan proyektil yang mengandung inti baja. Walaupun bersifat *non-toxic*, namun jeni proyektil ini masih berpotensi terjadinya *ricochet* dan *backsplash*. Hal ini dikarenakan ketika proyektil menghantam target, proyektil akan terdeformasi dan memiliki energi kinetik sisa yang membahayakan orang lain karena dapat memantul. Masyarakat pada umumnya menyebut peristiwa ini sebagai peluru *nyasar* (Subagyo, 2012).

c. *Frangible Bullet*

*Frangible bullet* adalah jenis peluru yang mudah pecah menjadi fragmen-fragmen kecil ketika menghantam terget yang lebih keras darinya. Peluru ini didesain untuk mencegah terjadinya *ricochet* dan *backsplash*. Peluru *frangible* terbuat dari komposit matriks logam dengan logam atau logam paduan meliputi tembaga atau paduannya, timah, nikel, emas, perak, besi, tungsten, kromium dan paduannya (Benini, 2001). Peluru *frangible* dalam penggunaannya terbatas pada jarak yang dekat dan banyak diaplikasikan untuk kegiatan latihan menembak (Vicko, 2014).



3. A. Hunsicker, 2008 membagi proyektil berdasarkan bagian-bagiannya. Proyektil terdiri dari 3 bagian yaitu *heel shapes* (dasar proyektil), *ogive shapes* dan *tip shapes* (ujung proyektil).



Gambar 2.8 Bagian – bagian proyektil (Lyman, 1958)

**a. Tip shapes**

Tip Shapes adalah bagian ujung atau meplat dari proyektil.

**b. Ogive Shapes**

*Ogive shapes* adalah kategorisasi proyektil yang didasarkan pada bagian head proyektil yang membentuk radius kelengkungan sampai bagian nose.

**c. Heel Shapes**

Kategorisasi proyektil yang di dasarkan pada bentuk *base* (dasar) proyektil.

## 2.2 Peluru *Frangible*

Peluru *frangible* adalah peluru yang mudah pecah menjadi fragmen-fragmen kecil ketika mengenai target yang lebih keras darinya untuk mencegah terjadinya *ricochet* dan *backsplash* (Jhonas, 2017). Kemampuan untuk terpisah menjadi fragmen-fragmen kecil setelah mengenai target yang keras disebut dengan *frangibility*. *Frangibility factor* atau sifat mudah pecah dari peluru *frangible* yang dipengaruhi oleh bentuk proyektil, sifat mekanik dari material proyektil, desain proyektil, teknologi produksi dan kondisi impak dari proyektil (J. Komenda, dkk, 2017). Peluru *frangible* telah banyak digunakan pada aplikasi kegiatan latihan menembak di ruangan tertutup maupun terbuka dengan jarak



tertentu. Material pengganti timbal yang digunakan untuk membuat peluru *frangible* adalah paduan Cu-Sn dengan menggunakan metode metalurgi serbuk (Benini, 2001). Material tersebut dikompres kedalam bentuk yang diinginkan. Untuk meningkatkan kinerjanya, maka peluru ini juga dilakukan proses *sintering* (Mikko, 2000).



Gambar 2.9 Peluru *frangible* (Cu) kaliber 9 mm (J. Komenda, 2013)

Pemilihan tembaga sebagai material alternatif dikarenakan tembaga termasuk material *non-toxic*, tembaga juga merupakan material yang lunak sehingga dapat menjadi pelumas ketika menjadi peluru pada penggunaan senapan. Selain itu timah memiliki *melting point* yang rendah sehingga dianjurkan untuk digunakan sebagai pengikat (*binder*). Karena timah cair cenderung lebih mudah membasahi serbuk tembaga. Pemaduan ini akan mampu membentuk permukaan partikel tembaga yang rapuh sehingga dapat meningkatkan *frangibility* dari peluru (Nadkarni, 2003).

### 2.2.1 Karakteristik Proyektil Peluru *Frangible*

Secara umum densitas dari peluru *frangible* menurut Hansen (2008) harus memiliki densitas dengan kisaran 1,75 g/cc–8,25 g/cm<sup>3</sup> Sedangkan untuk peluru *frangible* yang sesuai dengan





karakteristik uji tembak memiliki densitas dengan kisaran 7,1–8,5 g/cm<sup>3</sup> (Joys, 2012). Pada penelitian yang dilakukan oleh Kruachatturat dkk, 2009 menyebutkan bahwa kekuatan tekan yang harus dimiliki oleh peluru *frangible* berada pada kisaran 31 – 310 MPa. Dengan nilai kekerasan permukaan pada kisaran 54 – 119 HV. Pada Tabel 2.1 menunjukkan data karakteristik peluru *frangible* dari Sinterfire dan SR.

Tabel 2.1 Karakteristik peluru *frangible* (Rydlo, 2010)

Peluru <i>Frangible</i>	Sinterfire	SR
Kaliber d (m)	0,009	0,009
Panjang peluru l <sub>s</sub> (m)	0,0161	0.01435
Massa peluru m <sub>s</sub> (kg)	0,00648	0,0055
Densitas peluru ρ <sub>s</sub> (kg.m <sup>-3</sup> )	7443	6763
Modulus elastisitas saat penekanan K <sub>s</sub> (MPa)	10597	3999
Tekanan relatif maksimal peluru $\epsilon_{sx, \lim}$ (1)	0,01172	0,01255
Batas velositas peluru v <sub>s, lim</sub> (m.s <sup>-1</sup> )	69,4	32,9
Batas energi kinetik peluru E <sub>ks,lim</sub> (J)	15,6	2,9
Energi kinetik peluru jarak 2 m dari laras E <sub>k2</sub> (J)	470,3	366,4
Faktor <i>frangibility</i> peluru FF (1)	30,1	126,3

Berdasarkan paten milik Benini, 2001, bahwa serbuk tembaga juga dipakai dalam peluru jenis ini. Benini membuat peluru dengan komposisi 89.75% wt serbuk Cu, 10% wt serbuk Sn, dan 0.25% *Zinc Stearate* sebagai pelumas tekanan kompaksi



sebesar 20 ton. Memvariasikan temperatur *sintering* pada kondisi lingkungan gas nitrogen dan ditahan selama 30 menit, peluru ini menghasilkan sifat mekanik seperti yang dijelaskan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Sfat Mekanik Peluru *Frangible* Komposit Cu-Sn (Benini.2010).

Temperatur <i>Sintering</i> (°C)	Densitas (g/cm <sup>3</sup> )	Perubahan ukuran (%)	Nilai Kekerasan (HRH)	Transfer Rupture Strength (psi)
Tanpa <i>sintering</i>	7.26	0.14	73.7	3651
260	7.27	0.07	94.8	12710
810	6.53	2.53	52.7	32625

### 2.3 Balistik

Balistik adalah ilmu yang mempelajari tentang percepatan gerak benda, dalam hal ini yang dimaksudkan adalah mempelajari perilaku proyektil dari dalam laras hingga menuju target dan dampak yang ditimbulkan peluru tersebut (Latif, 2017). Pengujian balistik dilakukan untuk mengetahui kualitas dan keamanan dari objek balistik (Buhrle Zurich, 1981).

Ilmu balistik dibagi menjadi tiga yaitu balistik dalam, balistik luar dan balistik akhir (Stone, 1994). Menurut Brian J. Heard, 2008 balistik dalam atau balistik internal adalah ilmu yang mempelajari tentang perilaku proyektil saat berada di dalam laras dari saat *firing* pin menyentuh primer sampai peluru keluar dari laras. Menganalisa balistik dalam adalah berhubungan mengenai tentang karakteristik interior balistik dan fungsi kartrid dalam senjata (Jedicka, 2012). Balistik eksternal adalah ilmu yang mempelajari perilaku penerbangan proyektil saat keluar dari laras menuju target (Bryan Litz, 2012). Terminal balistik berhubungan dengan dampak yang dihasilkan proyektil terhadap target atau sasaran yang dituju.



Erwin Kreyzig (1993) merumuskan proses yang terjadi terhadap peluru didalam laras ketika proses penembakan yang dipaparkan pada persamaan berikut.

a) Koefisien Bentuk Projektil (i)

Sebelum mencari bentuk projektil (i), terlebih dahulu dicari bentuk projektil/normal point (n) dengan persamaan 2.1.

$$N = \frac{Rk}{d} \dots\dots\dots \text{persamaan (2.1)}$$

dimana,

N= bentuk projektil/*normal point*

Rk= radius kelengkungan projektil (mm)

d = kaliber projektil (mm)

Setelah didapat nilai *normal point* (n) maka nilai koefisien bentuk projektil (i) dapat dihitung dengan persamaan (Heatcher, 1962)

$$i = \frac{2}{N} \sqrt{\frac{4N-1}{7}} \dots\dots\dots \text{persamaan (2.2)}$$

b) Berat Udara ( $\Delta$ )

Lintasan projektil dihambat oleh udara yang mempunyai berat. Berat udara dapat dihitung dengan persamaan

$$\Delta = \frac{H - \frac{3}{8} f p}{R T} \dots\dots\dots \text{persamaan (2.3)}$$

dimana :

$\Delta$  = berat udara (kg/m<sup>3</sup>)

H = tekanan udara (mm Hg)

f = kelembaban nisbi dalam (%)

p = tekanan uap air jenuh pada temperatur t<sup>0</sup>C

R= ketetapan gas universal (2,1527 mm Hg/gram K)

T= temperatur mutlak (K)



c) Koefisien Balistik (C')

Koefisien balistik merupakan besaran angka yang berpengaruh terhadap lintasan peluru. Koefisien balistik ditentukan dalam persamaan

$$C' = \frac{m_p \Delta n}{1000 d^2 i \Delta} \dots\dots\dots \text{persamaan (2.4)}$$

dimana:

C' = koefisien balistik

m<sub>p</sub> = massa proyektil (kg)

i = koefisien bentuk proyektil

d = diameter proyektil (m)

Δn = berat udara normal (1.164 kg/m<sup>3</sup>)

Δ = berat udara terukur (kg/m<sup>3</sup>)

d) Kecepatan yang Hilang (v<sub>h</sub>)

Proyektil memiliki v<sub>0</sub> ketika keluar dari kelongsong. Semakin jauh proyektil meluncur dari laras, maka proyektil mengalami gerak lurus berubah beraturan (GLBB) sehingga kecepatan akan berkurang. Pengurangan kecepatan atau biasa disebut kecepatan yang hilang ditentukan dengan persamaan

$$v_h = \frac{x}{C'} \frac{f(v)}{V} \dots\dots\dots \text{persamaan (2.5)}$$

dimana:

v<sub>h</sub> = kecepatan yang hilang (m/dt)

x = jarak terukur (m)

f(v) = fungsi kecepatan dari tabel

v = kecepatan pada x (m/dt)

Sebagai faktor pengali yang diperlukan untuk menghitung kecepatan yang hilang (v<sub>h</sub>) adalah fungsi kecepatan (f(v)) per kecepatan (v) yang didapat secara interpolasi. Rumus interpolasi untuk mendapatkan fungsi kecepatan f(v), menurut Erwin Kreyzig, (1993) adalah sebagai berikut:



---

<b>v (m/dt)</b>	<b>f(v)</b>
A	D
B	E=?
C	F

---

$$E = \left[ \frac{(B-A)}{(C-A)} (F - D) \right] + D \dots\dots\dots \text{persamaan (2.6)}$$

Kecepatan proyektil akan terus berkurang selama meluncur di udara akibat gaya gesek dengan udara. Kecepatan proyektil tiap perubahan jarak ( $v_x$ ) dinyatakan dalam persamaan (2.7) berikut ini.

$$v_x = v_0 - \Delta v \dots\dots\dots \text{persamaan (2.7)}$$

dimana:

$v_0$  = kecepatan awal proyektil atau *muzzle velocity* (m/dt)

$v_x$  = kecepatan proyektil pada jarak x (m/dt)

$\Delta v$  = kecepatan yang hilang (m/dt)

#### e) Energi Kinetik ( $E_K$ )

Setiap proyektil mengalami perubahan kecepatan, maka energi kinetik proyektil juga berubah (Sears Zamansky, 1963), sebagaimana pada persamaan berikut ini.

$$E_k = \frac{1}{2} m_p v^2 \dots\dots\dots \text{persamaan (2.8)}$$

dimana:

$E_k$  = energi kinetik (joule)

$m_p$  = massa proyektil (kg)

$v_x$  = kecepatan pada jarak x (m)

Desain peluru kini hadir dengan variasi desain yang berbagai macam, hal ini dikarenakan desain peluru tersebut digunakan untuk memenuhi misi khusus dari peluru tersebut. Siacci merumuskan balistik koefisien yang dimiliki peluru dengan formula :



$$C' = \frac{m}{d^2 \cdot i} \dots\dots\dots \text{persamaan (2.9)}$$

dimana:

C' = balistik koefisien  
m = massa proyektil  
d = diameter proyektil  
i = koefisien bentuk proyektil

Untuk mengetahui koefisien bentuk proyektil, maka digunakan formula :

$$i = \frac{2}{n} \sqrt{\frac{4n-1}{n}} \dots\dots\dots \text{persamaan (2.10)}$$

dimana:

$$n = \frac{(4 \cdot l^2 + 1)}{4} \dots\dots\dots \text{persamaan (2.11)}$$

n = nomer kaliber proyektil *ogive*  
l = panjang *ogive*

Dengan menggunakan metode Siacci, cekukan pada desain peluru II dapat dihitung balistik koefisiennya.

## 2.4 Terminal Balistik

Terminal balistik adalah menganalisis fenomena yang terjadi saat proyektil menghantam target. Fenomena yang terjadi berupa kemungkinan kena (*Probability of Hit*), kerusakan proyektil, dan kerusakan target. Pada terminal balistik, dilakukan pemilihan target sesuai kebutuhan. Pada pengujian peluru *frangible* target dipilih yang memiliki permukaan yang keras. Tujuannya untuk membuktikan bahwa peluru *frangible* tersebut dapat pecah menjadi bagian-bagian kecil dan tidak mengalami *ricochet*. Target yang digunakan bisa berupa plat baja, tong atau beton. Untuk mengetahui *wound* profil yang diakibatkan dari peluru *frangible*, maka digunakan target lunak yaitu dengan menggunakan gelatin. Gelatin ini diumpamakan seperti jaringan tubuh manusia, sehingga dapat diketahui *wound* profil dari proyektil.



Menurut Rydlo, 2010 dari sudut pandang terminal balistik, *frangibility* sangat penting dalam *feature* peluru *frangible*. *Frangibility* adalah kemampuan proyektil untuk terpisah menjadi fragmen-fragmen kecil ketika menghantam target yang lebih keras dari kekuatan dan kekerasannya. Menurut Rydlo, 2010 *frangibility* dipengaruhi oleh 3 faktor yaitu:

- Karakteristik peluru

*Frangibility* akan meningkat dengan seiring menurunnya kekuatan dan ketangguhan dari material peluru. Bentuk proyektil mempengaruhi sifat *frangibility* dari peluru *frangible*. Semakin tinggi radius *ogive* dari bentuk proyektil, maka semakin meningkat pula *frangibility* dari peluru.

- Karakteristik target

*Frangibility* dipengaruhi oleh ketangguhan dari material target dan kekuatan materialnya. Semakin tinggi nilai ketangguhan dan deformasi yang dihasilkan pada material target, maka gaya yang bekerja pada pergerakan proyektil menuju target akan semakin besar dengan waktu tempuh yang lebih cepat. Hal ini menunjukkan bahwa kekuatan dari material peluru sangat kuat.

- Kondisi impak

Kondisi impak berpengaruh signifikan terhadap *frangibility* yang dimiliki peluru. Energi kinetik, kecepatan angular dari putaran proyektil dan geometri yang dihasilkan dari impak mempunyai pengaruh besar terhadap *frangibility*.

Peluru memiliki kecepatan tertentu saat keluar dari laras. Saat proyektil meluncur diudara dipengaruhi oleh hambatan udara dan gravitasi yang menyebabkan kecepatan peluru berkurang sampai peluru menghantam targetnya. Besar kecepatan ini mempengaruhi energi kinetik peluru ketika menghantam target. Peluru *frangible* mempunyai batas kecepatan minimum. Batas kecepatan minimum adalah kecepatan tertinggi peluru saat mengenai target keras dimana peluru tersebut tidak pecah. Pada



peluru *frangible*, batas kecepatan minimum menentukan besar batas energi kinetiknya. Apabila kecepatan proyektil melebihi batas kecepatan minimum ( $v_{lim}$ ) maka peluru tersebut pecah dan energi kinetik yang dihasilkan proyektil tersebut melebihi batas energi kinetiknya ( $E_{k,lim}$ ). Perbandingan antara energi kinetik ( $E_k$ ) peluru saat menghantam target dengan energi batas energi kinetik minimum ( $E_{k,lim}$ ) dinyatakan sebagai *Frangibility Factor*. *FF* memiliki nilai minimum. Apabila *FF* kurang dari 1, maka proyektil tidak akan pecah setelah menghantam benda keras. Apabila *FF* lebih besar dari 1, maka proyektil akan pecah saat menghantam benda keras.

#### 2.4.1 Balistik Gelatin

Balistik gelatin merupakan bagian dari terminal balistik dimana target yang digunakan adalah medium yang lebih padat daripada air yang biasa disebut dengan gelatin. Dengan kata lain balistik gelatin ini berguna untuk mempelajari perilaku proyektil terhadap jaringan lunak pada hewan atau manusia setelah terjadi kontak antara keduanya. Gelatin dimodelkan sebagai bahan pengerasan regangan linier elastis isotropik

*Wound ballistic* adalah daerah yang dihasilkan dari terminal balistik yang membentuk sebuah pola tertentu akibat dari sebuah hantaman peluru. Karakteristik dari *wound* peluru meliputi kedalaman penetrasi, diameter *permanent cavity*, diameter *temporary cavity* dan hamburan peluru. Mekanisme pembentukan *wound ballistic* dipengaruhi oleh massa, kecepatan dan karakteristik fisik dari proyektil. Desain dan bentuk suatu proyektil menentukan kecenderungan peluru untuk merusak bentuk, pecahan atau mengubah orientasi dari peluru tersebut. Misalnya, peluru berhidung bulat dengan kecepatan rendah memiliki kecenderungan untuk membuat sebuah terowongan yang cukup lurus melalui jaringan lunak. Peluru berhidung datar dengan kecepatan tinggi cenderung bergerak dalam arah yang tidak dapat diprediksi dan menyimpang dari terowongan melalui jaringan lunak. Namun jumlah jaringan yang rusak tergantung pada efisiensi energi yang





ditransfer ke gelatin. Energi ini berasal dari kecepatan pada saat peluru menyerang tubuh dan kecepatan sisa, kecepatan yang tersisa saat melewati tubuh. Peluru yang dirancang dengan fragmentasi yang kecil mempertahankan sebagian besar massanya dan membuat kedalaman penetrasi yang lebih dalam.

Penggunaan yang optimal dari energi kinetik peluru untuk menghasilkan gelombang tekanan yang besar ditunjukkan dengan desain peluru yang menembus 4” pertama atau lebih sebelum peluru kehilangan energi secara signifikan dan kemudian dengan cepat mengembang dan mentransfer sebagian besar energinya dan 40% massanya pada saat kedalaman penetrasi antara 4 dan 8” sebelum terus menembus kekedalaman yang diinginkan. Jika peluru ini ditembakkan melalui perut dan tidak keluar dari tubuh, maka energinya ditransfer ke area yang mengandung organ vital yang tidak dapat mengakomodasi tekanan dan dapat menyebabkan kerusakan yang luas.

#### 2.4.2 Mekanisme Terjadinya Luka Tembak

Mekanisme luka yang terjadi akibat hantaman peluru termasuk laserasi (luka yang terbuka) dan dapat menghancurkan jaringan. Terbentuknya luka tembak secara langsung berkaitan dengan energi kinetik dan pembentukan rongga sementara (*temporary cavity*) dan permanen. Untuk menembus kulit, setidaknya kecepatan impaknya sebesar 50 m/s dan untuk menembus tulang sebesar 65 m/s. Saat peluru menembus kulit, jaringan yang rusak disebabkan oleh penyerapan energi kinetik, gelombang tekanan dan fragmentasi peluru. Tingkat konversi energi yang diserap oleh jaringan lunak dapat menjadi proporsional terhadap ketiga kekuatan kecepatan pada kecepatan suara. Energi total yang dilepaskan ke target adalah dihitung dengan menggunakan formula 2.9.

$$\Delta E_k = E_{k \text{ entry}} - E_{k \text{ exit}} \dots\dots\dots \text{persamaan (2.12)}$$



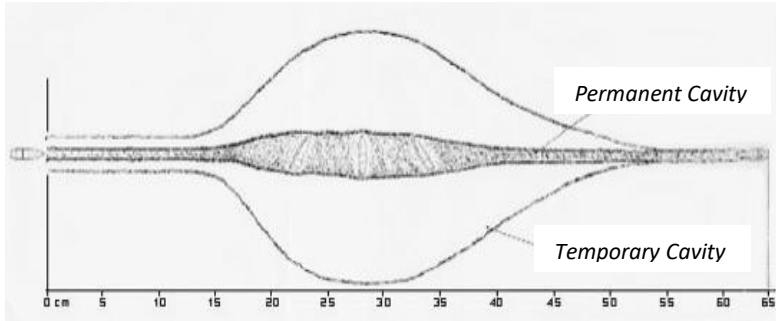
Semakin tinggi energi kinetik pada saat masuk ke jaringan lunak, maka semakin tinggi pula potensi peluru tersebut dalam melukai jaringan lunak tersebut. Namun, ini tidak selalu terjadi, jika keduanya masuk dan keluar energi kinetik tinggi, maka kerusakan jaringan yang terjadi relatif terjadi. Besar kecilnya energi kinetik yang ditransfer tergantung pada kecepatan impact dan jenis target. tekanan gelombang kejut juga berkontribusi terhadap kerusakan jaringan. Gelombang tekanan balistik didefinisikan sebagai gaya per satuan luas yang dibuat oleh balistik impa yang dapat diukur dengan transduser tekanan tinggi. Jaringan lunak menerapkan gaya perlambatan terhadap peluru dan peluru berlaku sama dan berlawanan memaksa pada jaringan tekanan ini berjalan secara radial keluar dari depan peluru ke segala arah dan menyebabkan rongga sementara (*temporary cavity*).

*Temporary cavity* terbentuk ketika proyektil menyerang jaringan dan berakselerasi secara radial. Pengaruh yang diberikan adanya *temporary cavity* sangat bergantung pada jenis jaringan dan elastisitasnya. Jaringan elastis yang lebih tinggi seperti otot akan mengakomodasi peregangan. Jaringan elastisitas yang rendah seperti otak atau hati dapat menyebabkan kerusakan yang parah. Cara utama peluru dapat menyebabkan kerusakan atau luka tembak pada target lunak adalah melalui rongga permanen yang ditinggalkan.

Aliran darah di area *permanent cavity* atau jaringan yang telah dirusak oleh peluru dapat berubah secara drastis dalam beberapa jam pertama. Awalnya, cedera balistik pertama kali dinilai dengan memeriksa tanda-tanda vital. Menilai saluran udara, pernapasan, sirkulasi, kemampuan atau ketidakmampuan pasien untuk bergerak, dan lokasi dimana terdapat luka terbuka dapat menentukan jalannya tindakan. Tekanan harus diterapkan pada bidang impact untuk membantu menghentikan hilangnya darah. Setelah pasien diangkut ke pusat trauma, mereka dapat diuji lebih lanjut untuk kerusakan organ tertentu berdasarkan pada awal penilaian. Eksisi jaringan yang rusak di sekitar daerah impact dan lintasan jalur peluru didalam jaringan lunak adalah perawatan khas



untuk luka tembak berisiko rendah dengan sedikit kerusakan jaringan lunak karena fragmentasi peluru yang kecil. Untuk risiko tinggi dan beberapa luka tembak dengan fragmentasi peluru yang tinggi, perawatan melibatkan debridemen dan operasi yang ekstensif.



Gambar 2.10 Profil luka tembak balistik gelatin (Danielle, 2010)

Selama ini, luka tembak telah dianalisis dengan beberapa cara yang berbeda. Yang paling umum digunakan adalah Fackler *wound* profil 2D. Profil lukanya adalah sarana untuk memprediksi pola luka dari sebuah peluru di dalam jaringan hidup. Profil ini dibuat dengan melakukan tes balistik gelatin. Sebuah blok gelatin dibuat dengan ukuran 25x25x50 cm dari 10 atau 20% gelatin dan proyektil ditembakkan ke dalam blok gelatin. Penetrasi kedalaman, rongga sementara, dan rongga permanen dapat diukur dari profil luka yang dihasilkan.

## 2.5 Metode Elemen Hingga

Dari sekian banyak pekerjaan penting yang dilakukan oleh insinyur dan ilmuwan adalah memodelkan fenomena alam. Mereka memodelkan konsep dan model matematika untuk mensimulasikan kejadian fisis, atau terdapat pada fenomena mekanis, kimia, geologi, biologi, dan *aerospace*. Model matematika ini dibangun berdasarkan hukum-hukum fisika dan dideskripsikan dalam bentuk aljabar, diferensial, dan integral.



Model matematika secara luas dapat diartikan sebagai satu perangkat hubungan antara variabel yang mengekspresikan sifat yang penting dari sistem fisik atau proses dalam terma analitis. Pola hubungan yang menentukan sistem tersebut mengambil bentuk Aljabar, diferensial, dan persamaan integral. Model matematika ini jika menganalisa fenomena fisik, menggunakan hukum dasar fisika, seperti prinsip konservasi massa, prinsip konservasi momentum linier, dan prinsip konservasi energi. Jangkauan dari bahasan kali ini adalah dikhususkan pada bahasan sistem di dunia teknik yang dipengaruhi oleh hukum mekanika kontinyu. Model matematika dari sistem teknik ini ditandai dengan persamaan yang sangat kompleks dan diterapkan di benda kerja yang secara geometris sangat rumit. Sehingga dengan adanya penemuan cabang ilmu baru, yaitu *computational mechanics*, maka persamaan yang sebelumnya kompleks bisa disederhanakan untuk menemukan penyelesaiannya yang bersifat praktis di dunia sains dan teknis. Pengembangan dari penyelesaian model matematis ini mendorong ditemukannya metode numerik yang bisa diselesaikan oleh komputer. Dari penemuan ini, di antaranya adalah ditemukannya *finite difference method* (metode turunan hingga) dan *finite element method* (metode elemen hingga) berikut variannya yang kebanyakan dari metode-metode ini dipakai untuk menyelesaikan permasalahan praktis di dunia teknik. Pada metode turunan hingga, derivasi dari orde yang bermacam-macam diaproksimasi menggunakan deret Taylor. Metode turunan hingga memiliki dua kekurangan besar, yaitu :

1. Kondisi batas (*boundary condition*) dari tipe gradien mengharuskan adanya aproksimasi tambahan
2. Formula turunan hingga biasanya dikembangkan untuk bentuk kisi-kisi persegi (*rectangular grid*), membuatnya sulit digunakan untuk domain yang tidak teratur.

Langkah-langkah untuk mengatasi masalah ini sudah dilakukan, namun penyelesaian yang dilakukan masih belum memuaskan. Sedangkan metode elemen hingga berangkat dari ide bahwa setiap sistem secara fisik terdiri dari bagian-bagian. Karena



itu penyelesaiannya direpresentasikan di dalam bagian-bagian. Sebagai tambahan, penyelesaian atas tiap bagian direpresentasikan sebagai kombinasi linier parameter-parameter yang belum ditentukan dan diketahui fungsi posisi dan waktu.

Metode elemen hingga merupakan metode numerik berbasis komputasi untuk memecahkan permasalahan dalam bidang engineering. Geometri akan dibagi menjadi elemen-elemen yang lebih kecil dimana masing-masing elemen node yang digunakan untuk mewakili nilai variabel (contohnya kecepatan, tegangan, dan perpindahan panas) yang membawahi elemen fungsi interpolasi (disebut juga fungsi aproksimasi). Persamaan matriks dalam metode ini menjabarkan sifat-sifat setiap elemen. Hal tersebut ditentukan dengan menggunakan pendekatan langsung dan pendekatan variasional. Setiap persamaan matriks digabungkan untuk menentukan persamaan sistem secara keseluruhan. Nilai nodal dari variabel yang ada dimasukkan pada sistem persamaan. Nilai nodal yang tidak diketahui dari masalah akan diperoleh dengan menyelesaikan persamaan sistem. Masalah teknik yang umum ditangani oleh metode elemen hingga antara lain adalah struktural, thermal, aliran fluida, listrik, magnet, kebisingan akustik, dan sebagainya. (Hendrizal & Djunaidi, 2013)

Metode elemen hingga berangkat dari ide bahwa setiap sistem secara fisik terdiri dari bagian-bagian. Karena itu penyelesaiannya direpresentasikan di dalam bagian-bagian. Sebagai tambahan, penyelesaian atas tiap bagian direpresentasikan sebagai kombinasi linier parameter-parameter yang belum ditentukan dan diketahui fungsi posisi dan waktu. Bagian-bagian ini dapat berbeda satu sama lainnya dalam bentuknya, sifat materialnya, dan sifat fisiknya. Jika sistem terbuat dari material dan masih di satu geometri yang sama, akan lebih sederhana dalam penyelesaiannya. Dan fitur dasar dari metode elemen hingga adalah sebagai berikut :

- a. Membagi suatu daerah menjadi bagian-bagian yang disebut elemen



- b. Setiap elemen representatif, membuat hubungan antara variable primer dan sekunder (seperti gaya, perpindahan, panas temperatur, dan lainnya)
- c. Menyambungkan elemen-elemen untuk menemukan hubungan di antara variable primer dan sekunder dalam sistem tersebut

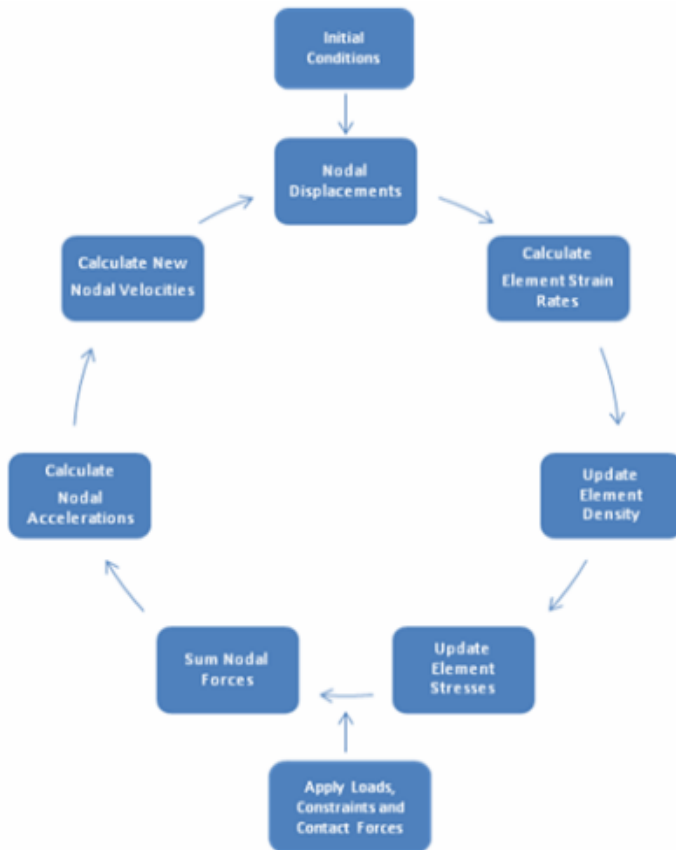
## 2.6 Explicit Dynamics

*Explicit dynamics* adalah aplikasi WORKBENCH yang dapat melakukan berbagai simulasi rekayasa, termasuk pemodelan dinamis nonlinier dari zat padat, cair, gas dan interaksinya. Simulasi ini terdiri dari pengaturan model, interaksi dan beban yang diterapkan, penyelesaian respons dinamis nonlinier model dari waktu ke waktu untuk beban dan interaksi, kemudian memeriksa hasil respons dengan berbagai *figure* yang tersedia. Aplikasi Explicit Dynamics memiliki objek yang diatur dalam struktur pohon yang memandu melalui berbagai langkah simulasi. Dengan memperluas objek, memaparkan detail yang terkait dengan objek, dan dapat menggunakan *figure* yang sesuai dan tabel spesifikasi untuk melakukan bagian simulasi tersebut. Objek digunakan, misalnya, untuk menentukan kondisi lingkungan seperti permukaan kontak dan pemuatan

Dalam penyelesaian *explicit dynamics*, dimulai dengan domain diskretisasi (mesh) dengan sifat material yang ditetapkan, beban, kendala dan kondisi awal. Keadaan awal ini, ketika terintegrasi dalam waktu, akan menghasilkan gerakan pada titik-titik simpul di mesh. Gerakan titik-titik simpul menghasilkan deformasi dalam elemen-elemen mesh. Deformasi menghasilkan perubahan volume (karenanya densitas) material di setiap elemen. Tingkat deformasi digunakan untuk menurunkan laju regangan material menggunakan berbagai formulasi elemen. Hukum konstitutif mengambil tingkat regangan material dan menurunkan tekanan material yang dihasilkan. Tegangan material diubah kembali menjadi kekuatan nodal menggunakan berbagai formulasi elemen. Gaya nodal eksternal dihitung dari kondisi batas, beban



dan kontak (interaksi tubuh). Gaya nodal dibagi oleh massa nodal untuk menghasilkan percepatan nodal. Percepatan yang terintegrasi secara eksplisit terhadap waktu menghasilkan kecepatan nodal baru. Kecepatan nodal yang terintegrasi eksplisit terhadap waktunya menghasilkan posisi nodal baru. Proses solusi ini diulang hingga waktu yang ditentukan.



Gambar 2.11 Skema *explicit dynamics* (ANSYS, 2011)



Persamaan diferensial parsial yang harus dipecahkan dalam analisis Eksplisit Dinamika menyatakan konservasi massa, momentum, dan energi dalam koordinat Lagrangian. Persamaan ini bersama-sama dengan pemodelan material dan acuan serta kondisi batas yang ditentukan akan menghasilkan solusi lengkap dalam sebuah masalah yang dianalisis. Untuk formulasi Lagrangian yang saat ini tersedia dalam sistem Explicit Dynamics, mesh bergerak dan mendistorsi dengan material yang dimodelkannya dan kekekalan massa secara otomatis dipenuhi. Densitas di setiap waktu dapat ditentukan dari volume saat waktu itu dan massa awalnya

$$\frac{\rho_o V_o}{V} = \frac{m}{V} \dots\dots\dots \text{persamaan (2.13)}$$

Persamaan diferensial parsial yang diekspresikan untuk konservasi momentum berhubungan dengan percepatan tensor tegangan  $\sigma_{ij}$  adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\rho \ddot{x} &= b_x + \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{xz}}{\partial z} \\ \rho \ddot{y} &= b_y + \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{yz}}{\partial z} \\ \rho \ddot{z} &= b_z + \frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z}\end{aligned} \dots \text{persamaan (2.14)}$$

Konservasi dari sebuah energi diperlihatkan sebagai,

$$\dot{e} = \frac{1}{\rho} (\sigma_{xx} \dot{\epsilon}_{xx} + \sigma_{yy} \dot{\epsilon}_{yy} + \sigma_{zz} \dot{\epsilon}_{zz} + 2\sigma_{xy} \dot{\epsilon}_{xy} + 2\sigma_{yz} \dot{\epsilon}_{yz} + 2\sigma_{zx} \dot{\epsilon}_{zx}) \quad (2.15)$$

Persamaan ini digunakan untuk memecahkan kasus-kasus eksplisit pada tiap-tiap element sebuah model yang didasari pada nilai input pada akhir langkah waktu sebelumnya. Peningkatan nilai waktu digunakan untuk meyakinkan kestabilan dan akurasi dari suatu solusi. Catatan bahwa dalam *explicit dynamic* kita tidak mencari persamaan keseimbangan, kita hanya mencari hasil dari sebuah titik waktu sebelumnya untuk memperkirakan hasil pada

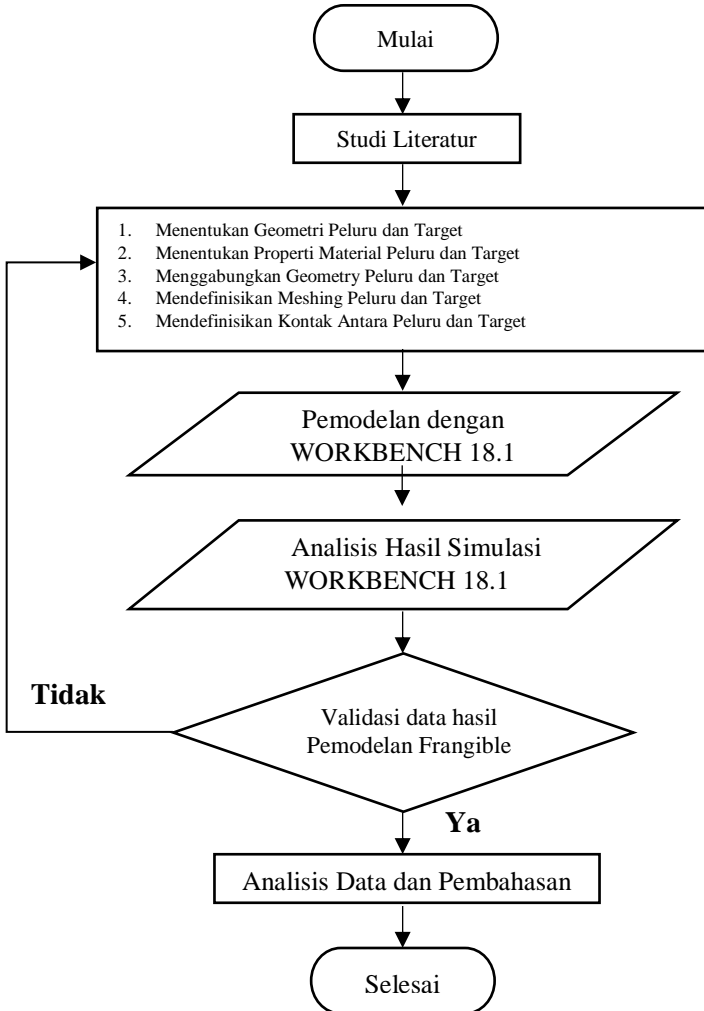




waktu analisis berikutnya. Tidak diperlukan untuk sebuah iterasi. Dalam hasil simulasi *explicit dynamics*, massa, momentum dan energi harus diperhatikan. Hanya massa dan konservasi momentum yang dihasilkan. Energi diakumulasikan dalam waktu yang lebih dan konservasi di awasi selama proses mencari solusi. Hasil input balik pada kualitas analisis solusi disediakan melalui hasil akhir momentum dan konservasi energi (seperti perlawanan untuk toleransi perbedaan dalam kasus analisis *implicit transient dynamics*).

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian



**Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian**



### 3.2 Desain Penelitian

Nilai-nilai variabel yang digunakan dalam penelitian ini berdasarkan teori tentang peluru *frangible* dan penelitian sebelumnya. Adapun penjabaran desain penelitian yang meliputi variabel respon dan proses.

#### 3.2.1 Variabel Respon

Variabel respon merupakan variabel yang nilainya dipengaruhi oleh variabel proses, dimana hasilnya didapatkan setelah melakukan simulasi dan validasi. Variabel respon dalam penelitian ini adalah:

- Energi impak peluru/energi kinetik ketika peluru bertumbukan ( $E_k$ )
- Nilai balistik terminal gelatin yang di tunjukkan dengan kedalaman penetrasi dan diameter *temporary cavity*.

#### 3.2.2 Variabel Proses

Variabel proses adalah variabel yang nilainya ditentukan dan divariasikan dengan tujuan mendapatkan hasil dan analisa tentang pengaruh variabel proses terhadap variabel respon. Variabel proses yang akan dianalisa dalam penelitian ini adalah *muzzle velocity* dari dua desain peluru yang berbeda.

### 3.3 Spesifikasi Material

#### 3.3.1 Material Projektil

Material projektil yang digunakan adalah komposit Cu-Sn 10% wt. Material ini digunakan untuk menggantikan Pb yang berbahaya bagi manusia dan lingkungan. Dan juga komposit Cu-Sn 10% wt, karena matriksnya adalah Cu, ia berfungsi juga sebagai pelumas di laras senapan. Sn atau yang kita kenal dengan nama Timah, adalah logam yang lunak dan ulet, juga tidak mudah teroksidasi dan terkorosi karena ia terlindung oleh lapisan oksida. Dan yang menjadi keunggulan dari timah adalah sifatnya yang *spreadability* dan *wet* sehingga mampu untuk membasahi substrat, seperti tembaga, paduan tembaga, nikel, dan paduan nikel. Dari



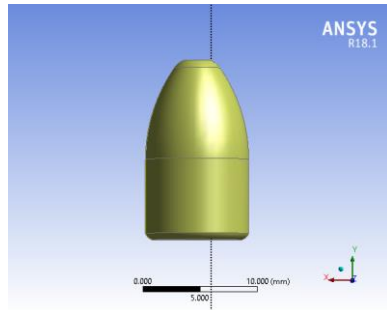
dua material di atas, tembaga berlaku sebagai matriks dan timah berlaku sebagai reinforce sehingga jadilah komposit.

**Tabel 3.1** Sifat mekanik peluru *frangible* (Kamil, 2016)

No.	Sifat	Keterangan
1.	Densitas	7.7668 g/cm <sup>3</sup>
2.	Yield Strength	294 MPa
3.	Modulus Young	83 GPa
4.	Poisson Ratio	0,359



(a)

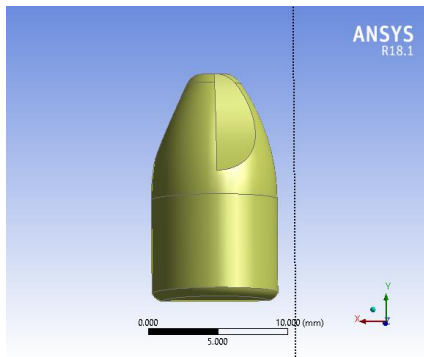


(b)

**Gambar 3.2** Desain peluru I (a) produk , (b) simulasi



(a)



(b)

**Gambar 3.3** Desain peluru II (a) produk , (b) simulasi



### 3.3.2 Material Target

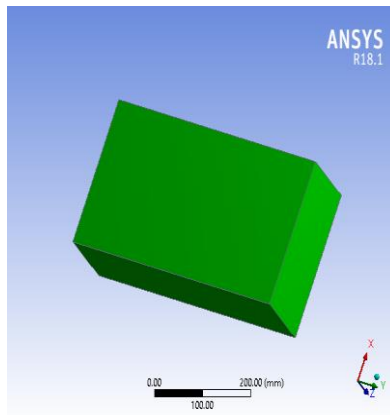
Material yang digunakan sebagai target adalah target lunak yaitu gelatin. sesuai standar uji balistik dari FBI *Penetrating*. Gelatin ini digunakan sebagai target karena strukturnya yang diumpamakan seperti jaringan manusia dan hewan. Berikut sifat fisik dan mekanik dari gelatin :

**Table 3.2.** Sifat Fisik dan Mekanik gelatin (Batra ,2016)

No.	Sifat	Keterangan
1.	Densitas	1.2 g/cm <sup>3</sup>
2.	Modulus Young	0.000098 GPa
3.	Poisson Ratio	0,34



(a)



(b)

**Gambar 3.4** Desain peluru gelatin (a) produk , (b) simulasi

### 3.4 Peralatan

Dalam penelitian ini peralatan yang digunakan adalah perangkat lunak (*software*) ANSYS WORKBENCH 18.1. Dalam pengoperasian ANSYS WORKBENCH 18.1 modul yang digunakan dalam penelitian ini adalah *explicit dynamics*.



**Gambar 3.5.** *Start ANSYS WORKBENCH 18.1*

Semua bentuk pengerjaan dikerjakan dalam satu sistem operasi karena *software* ini mendukung semua simulasi dan analisis sekaligus. Dimulai dari geometri, menentukan *properties material* dari target dan peluru frangible, meshing, hingga mendefinisikan kontak semua dikerjakan dalam *software*.

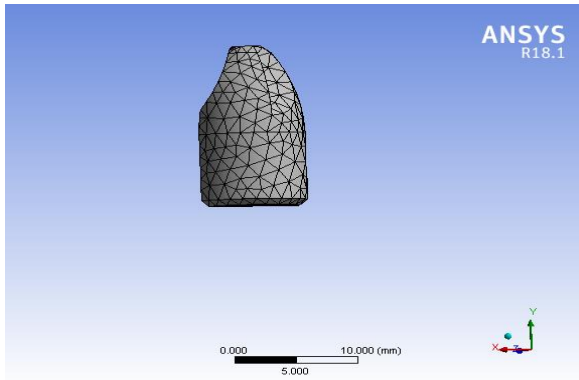
### **3.5 Proses Penelitian**

#### **3.5.1 Pemodelan Projektil Cu-Sn 10%wt**

Pemodelan dari projektil diawali dengan menentukan dan memasukkan *engineering data* sebagai material *properties*. Setelah itu, geometri dari peluru *Frangible* dibuat, diawali dengan pembuatan *Keypoint*, lalu dilanjutkan dengan menghubungkan *keypoint* dengan garis-garis. Setelah garis-garis terbentuk, maka yang dilakukan adalah membuat luas permukaan dari garis-garis yang sudah terhubung. Luas permukaan yang terbentuk kemudian di *revolve* menjadi satu volume yang utuh dengan memanfaatkan sumbu *axis*nya dengan rotasi  $180^0$  agar mudah dalam mengamati *wound profile* yang dihasilkan dari pemodelan kontak antara peluru



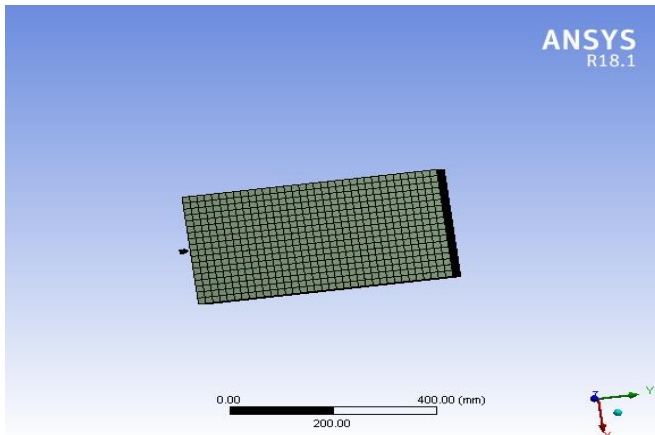
dengan tergetnya. Geometri proyektil kemudian di *meshing* sesuai dengan tipe elemen dan model materialnya menggunakan *mesh tool*. Hasil geometri peluru seperti pada Gambar 3.4.



**Gambar 3.6.** Hasil *Meshless* Peluru Frangible

### 3.5.2 Pemodelan Target

Langkah untuk pemodelan target sama dengan pemodelan peluru. Yang membedakannya hanyalah *input properties*. Kemudian, yang dilakukan adalah membuat geometri dari target. Geometri dari target dibentuk dari *square*, yang kemudian di *extrude* ke arah bidang normal. Setelah itu, geometri dari target di *mesh* sesuai dengan model material dan tipe elemen yang digunakan. Gambar 3.5 berikut ini.

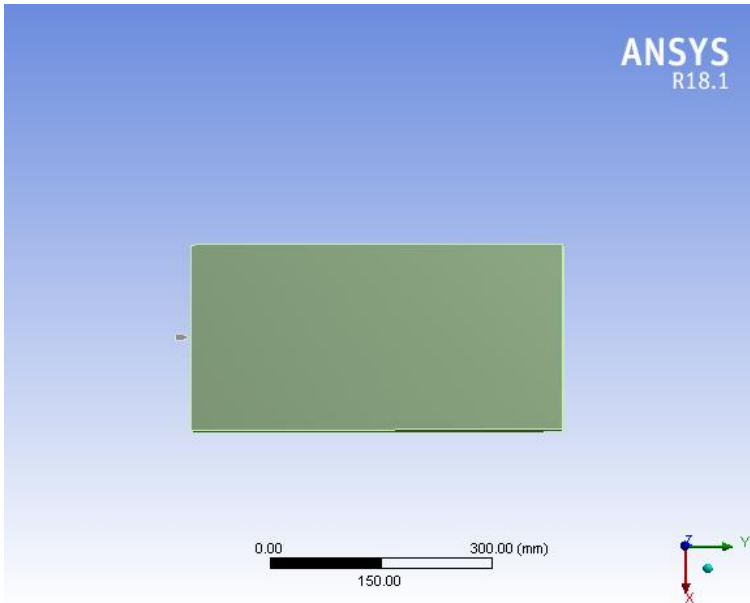


**Gambar 3.7.** Hasil meshless Geometri Target

### 3.5.3 Pemodelan Kontak

Setelah pemodelan proyektil dan pemodelan target berhasil, maka yang dilakukan adalah memodelkan kontak yang terjadi antara proyektil dengan target. Setelah itu yang dilakukan adalah tipe kontak yang terjadi. Karena kontak yang terjadi mengharuskan peluru masuk kedalam target agar terjadi *wound profile*, maka tipe kontak dihapus. Setelah itu, yang dilakukan adalah meng *constraint* kan area dari target dan memberikan *initial velocity* (kecepatan awal) kepada proyektil, dimana variasi nilai kecepatannya adalah 360 m/s, 380 m/s dan 400 m/s. Sebelum di *running*, yang harus dilakukan adalah menentukan waktu terminasinya, dimana waktu terminasi yang digunakan disini adalah 0.00045 s. Setelah ditentukan waktu terminasinya, kemudian menentukan solution dari pemodelan yang diinginkan. Setelah itu, di *running* dan hasil pekerjaan selama tahap *prepPost* disimpan dalam bentuk file ANSYS.





**Gambar 3.8** Pemodelan Kontak Peluru Frangible

## BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Analisa Data dan Pembahasan

#### 4.1.1 Perhitungan Kecepatan Awal Hasil Interpolasi

Pemodelan peluru *frangible* yang dilakukan dalam penelitian ini memiliki beberapa parameter yang berbeda. Oleh karena itu, input data yang digunakan dalam metode simulasi harus dihitung kembali secara analitik untuk menjamin validitas dari hasil pemodelan. Parameter yang harus dihitung kembali adalah kecepatan awal peluru (*initial velocity*). Pada penelitian ini menggunakan dua desain bentuk proyektil yang berbeda. Sehingga untuk mengetahui kecepatan awal peluru, perlu untuk menghitung balistik koefisien. Hal ini dikarenakan kecepatan peluru pada jarak  $x$  dipengaruhi oleh balistik koefisien dari desain bentuk proyektil tersebut.

- a) Menghitung koefisien bentuk peluru ( $i$ )
  - Koefisien bentuk peluru desain I

Jari-jari kelengkungan peluru  $Rk = 16 \text{ mm}$   
 $d = 9 \text{ mm}$

$$N = \frac{Rk}{d} = \frac{16, \text{ mm}}{9 \text{ mm}} = 1,8$$

$$i = \frac{2}{N} \sqrt{\frac{4N - 1}{7}}$$

$$i = \frac{2}{1,8} \sqrt{\frac{4(1.8) - 1}{7}}$$

$$i = 1$$



- Koefisien bentuk peluru desain II

Untuk menghitung balistik koefisien pada desain II menggunakan metode perhitungan Siacci, dimana lubang yang dibuat pada desain II dianggap flow stabilizer.

Panjang ogive  $l = 14 \text{ mm}$

Nomor caliber  $n$

$$n = \frac{(4 \cdot l^2 + 1)}{4} = \frac{785}{4} = 196,25$$

$$i = \frac{2}{n} \sqrt{\frac{4n - 1}{n}}$$

$$i = \frac{2}{196,25} \sqrt{\frac{4(196,25) - 1}{196,25}}$$

$$i = 0,02$$

Peluru *fragible* desain II ini memiliki nilai jari-jari kelengkungan  $R_k$  yang kecil. Berdasarkan persamaan 2.2 ditunjukkan bahwa nilai kelengkungan sangat mempengaruhi nilai koefisien balistik, sehingga nilai jari-jari kelengkungan  $R_k$  yang kecil menyebabkan nilai koefisien bentuk proyektil ( $i$ ) menjadi besar begitupun sebaliknya. Nilai koefisien bentuk proyektil ( $i$ ) merupakan faktor fungsi bentuk sesuai dengan kegunaan yang menentukan kemampuan peluru dalam menembus media dan target.

b) Menghitung kerapatan udara

**Tabel 4.1** Kondisi udara wilayah kabupaten Malang

	Nilai
Tekanan udara (H)	759.137 mmHg
Kelembaban nisbi (f)	78%
Temperatur (T)	298 K
Tekanan uap jenuh (p)	23.39
Tetapan Gas	2.15271 mmHg/ gr K

BMKG Malang 2017



$$\Delta = \frac{H - \frac{3}{8} \cdot f \cdot p}{R \cdot T}$$

$$\Delta = \frac{759,137 \text{ mmHg} - \frac{3}{8} \cdot (78\%) (23,39)}{2,15271 \text{ mmHg/gr K} \cdot 298 \text{ K}}$$

$$\Delta = 1.17265 \text{ kg/m}^3$$

Perlambatan terhadap laju peluru, selain ditentukan oleh bentuk peluru yang memiliki kemampuan menembus yang berbeda, juga ditentukan oleh kerapatan (berat jenis) udara sebagai media laju peluru yang dihitung dengan persamaan 2.3. Semakin besar kerapatan udara, maka kecepatan peluru yang berkurang juga semakin banyak.

Nilai kerapatan udara di kabupaten Malang yaitu  $1.17265 \text{ kg/m}^3$ . Nilai kerapatan udara yang mendekati normal tidak terlalu mempengaruhi nilai koefisien balistik.

Bentuk, massa peluru dan kerapatan udara menentukan nilai koefisien balistik  $C'$  peluru *frangible* pada desain I, yang dihitung dengan persamaan 2.4.

c) Menghitung koefisien balistik ( $C'$ )

- Koefisien balistik peluru desain I

$$C' = \frac{m_p \Delta_n}{1000 d^2 i \Delta}$$

$$C' = \frac{(5 \cdot 10^{-3})(1,164 \text{ kg/m}^3)}{1000 (9 \cdot 10^{-3} \text{ m})^2 (1) (1,17265 \text{ kg/m}^3)}$$

$$C' = \frac{6,111}{98,784036}$$

$$C' = 0,05$$



- Koefisien balistik peluru desain II

Pada desain II koefisien balistik menggunakan metode Siacci. Dimana balistik koefisien diperoleh dari pembagian antara massa proyektil dengan hasil kali dari kuadrat diameter dan koefisien bentuk proyektil.

$$C' = \frac{m}{d^2 \cdot i}$$

$$C' = \frac{4.2}{9^2 \cdot 0,02}$$

$$C' = 2.59$$

Nilai koefisien balistik peluru *frangible* desain I lebih kecil daripada desain II, yaitu 0,05. Nilai koefisien balistik yang kecil menyebabkan lintasan atau jarak efektif menjadi pendek. Sehingga lintasan peluru pada desain II memiliki jarak lebih panjang daripada peluru desain I. hal ini dikarenakan balistik koefisien mempengaruhi kecepatan yang berkurang pada jarak  $x$ . Sehingga dengan koefisien balistik yang tinggi, kecepatan peluru berkurang sangat minimal.

Koefisien balistik digunakan untuk menentukan pengurangan kecepatan peluru setiap jarak  $x$ . Faktor pengali pengurangan kecepatan ditentukan dengan menggunakan interpolasi.

d) Menghitung kecepatan peluru pada jarak  $x = 2,995m$

Kecepatan awal peluru dengan kaliber 9mm yang digunakan dalam metode esperimental terukur pada jarak 3m. namun pada pemodelan ini, jarak tembak eksperimental tidak dapat dimasukkan karena keterbatasan *software* untuk membaca jarak. *Software* yang digunakan hanya mampu memodelkan jarak dengan satuan millimeter. Oleh karena itu, jarak tembak yang digunakan dalam penelitian pemodelan ini adalah sebesar 0,005m. Sedangkan kecepatan awal peluru divariasikan yang mengacu pada standar



PT. Pindad MU-1TJ dengan kurang lebih  $380 \text{ m/s}$ . Sehingga variasi kecepatan awal peluru yang digunakan adalah  $360 \text{ m/s}$ .,  $380 \text{ m/s}$ . dan  $400 \text{ m/s}$ . Berikut perhitungan kecepatan awal peluru pada jarak 2,995m pada desain peluru I dan desain peluru II.

- Kecepatan peluru pada jarak 2,995m desain peluru I

Diketahui nilai kecepatan saat peluru keluar dari laras adalah  $360 \text{ m/s}$ .

**Tabel 4.2.** Faktor perubahan kecepatan

$v(\text{m/s})$	$f(v)$
300	15.45
360	$f(v_0)$
400	51.53

$$f(v_0) = \left[ \frac{(360 - 300)}{(400 - 300)} \cdot (51.53 - 15.45) \right] + 15,45$$

$$f(v_0) = 37,098$$

$$\Delta v = \frac{x}{C'} \cdot \frac{f(v)}{v}$$

$$\Delta v = \frac{2,995}{0,05} \cdot \frac{37,098}{360}$$

$$\Delta v = 5,61 \text{ m/s}$$

$$v_{2,995} = v_0 - \Delta v$$

$$v_{2,995} = (360 - 5,61) \text{ m/s}$$

$$v_{2,995} = 354,39 \text{ m/s}$$

Setelah dilakukan perhitungan kecepatan peluru pada jarak 2,995m dari variasi kecepatan awal peluru desain 1 diperoleh data Tabel 4.3 berikut ini.



**Tabel 4.3** Data Kecepatan Awal Peluru Desain I pada Jarak  
2,995m

Kecepatan Awal Peluru	Faktor Perubahan Kecepatan	Perubahan Kecepatan	Kecepatan
$(m/s)$	$f(v)$	$(\Delta v)$	$(v_{2,995})$
360	37,098	5,61	354,39
380	44,314	6,35	373,65
400	51,53	7,4	392,6

Berdasarkan pada Tabel 4.3, semakin besar kecepatan awal peluru maka semakin besar pula perubahan kecepatan sehingga diperoleh kecepatan pada jarak  $x$  yang mengikuti besarnya perubahan kecepatan.

- Kecepatan peluru pada jarak 2,995m desain peluru II

Menghitung kecepatan peluru pada jarak 2,995m pada desain peluru II menggunakan interpolasi yang sama seperti pada desain peluru I

Diketahui nilai kecepatan saat peluru keluar dari laras adalah  $360 m/s$ .

<b>Tabel 4.4.</b> Faktor perubahan kecepatan	
$v(m/s)$	$f(v)$
300	15.45
360	$f(v_0)$
400	51.53

$$f(v_0) = \left[ \frac{(360 - 300)}{(400 - 300)} \cdot (51.53 - 15.45) \right] + 15,45$$

$$f(v_0) = 37,098$$



$$\Delta v = \frac{x}{C'} \cdot \frac{f(v)}{v}$$

$$\Delta v = \frac{2,995}{2,59} \cdot \frac{37,098}{360}$$

$$\Delta v = 0,15 \text{ m/s}$$

$$v_{2,995} = v_0 - \Delta v$$

$$v_{2,995} = (360 - 0,15) \text{ m/s}$$

$$v_{2,995} = 359,85 \text{ m/s}$$

Setelah dilakukan perhitungan kecepatan peluru pada jarak 2,995m dari variasi kecepatan awal peluru desain II diperoleh data Tabel 4.5 berikut ini.

**Tabel 4.5** Data Kecepatan Awal Peluru Desain II pada Jarak 2,995m

<b>Kecepatan Awal Peluru</b> <b>(<math>m/s</math>)</b>	<b>Faktor Perubahan Kecepatan</b> <b>(<math>f(v)</math>)</b>	<b>Perubahan Kecepatan</b> <b>(<math>\Delta v</math>)</b>	<b>Kecepatan</b> <b>(<math>v_{2,995}</math>)</b>
<b>360</b>	37,098	0,15	359,85
<b>380</b>	44,314	0,24	379,76
<b>400</b>	51,53	0,3	399,7

Dengan variasi kecepatan awal yang sama pada peluru desain II memiliki perubahan kecepatan yang sangat kecil sehingga kecepatan pada jarak 2,995m lebih besar dibandingkan dengan peluru desain I. Hal ini dikarenakan balistik koefisien peluru desain II lebih besar dibandingkan peluru desain I.





#### 4.1.2 Pengujian Eksperimen dan Simulasi

Penelitian komposit Cu-10%wtSn yang diaplikasikan untuk peluru *frangible*, selain menganalisis sifat mekanik diperlukan juga analisis pengujian balistik. Pengujian balistik terdiri dari 3 yaitu balistik internal, Eksternal dan terminal balistik. Pada rancangan awal penelitian dilakukan simulasi pengaruh desain bentuk proyektil terhadap ketiga balistik tersebut. Akan tetapi waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan simulasi terhadap 3 balistik tersebut lebih lama dari batas waktu yang telah ditentukan untuk pengerjaan penelitian ini, sehingga penelitian ini berfokus pada terminal balistik gelatin. Data yang dianalisis adalah kedalaman penetrasi, *temporary cavity* dan permanen *cavity*.

Pengujian eksperimen peluru *frangible* pada desain peluru I terhadap terminal balistik gelatin dilakukan di PT. Pindad. Pada pengujian ini, dilakukan uji *bare* gelatin yaitu proses pengujian gelatin tanpa ada perantara antara tembakan dengan sasaran gelatin. Pengujian ini dilakukan pada lorong uji 25 m dengan jarak tembak 3 m. Berikut adalah gambar hasil pengujian terminal balistik gelatin.



(a)



(b)

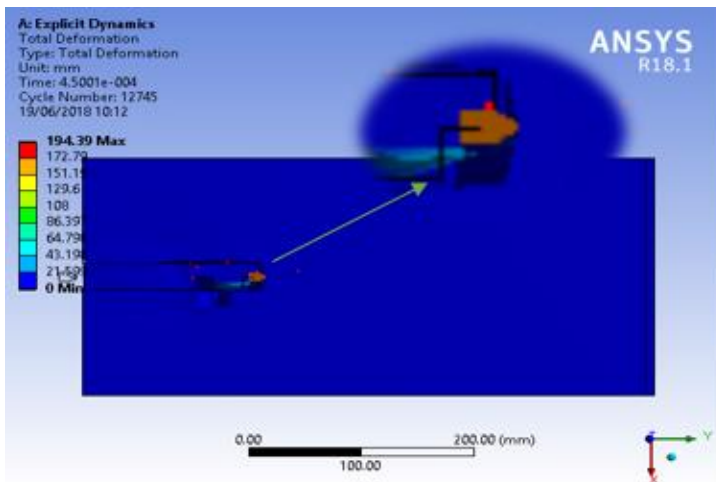
**Gambar 4.1** Hasil pengujian penetrasi (a) gel 1, (b) gel 2



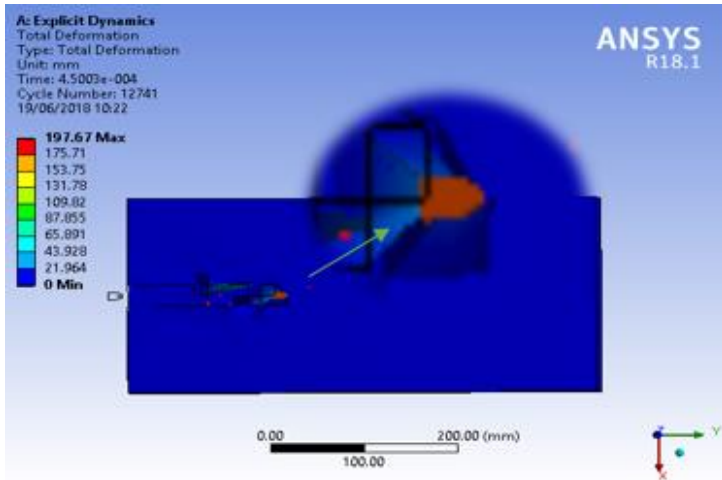
Dari pengujian yang telah dilakukan, didapatkan pada pengujian pertama total penetrasi sebesar 230 mm dan pengujian kedua total penetrasi sebesar 190 mm. Berdasarkan Inceptorammo, pada desain peluru II memiliki total penetrasi sebesar 355 mm.

Pada simulasi yang dikerjakan, kecepatan awal peluru yang digunakan sesuai dengan Tabel 4.3 untuk desain peluru I dan Tabel 4.5 untuk desain peluru II dengan jarak 0.005 meter. Sedangkan waktu tembak dari hasil pemodelan seluruhnya adalah sebesar 0.00045 sekon. Artinya, dalam rentang waktu tersebut telah terjadi proses impak antara peluru dengan target.

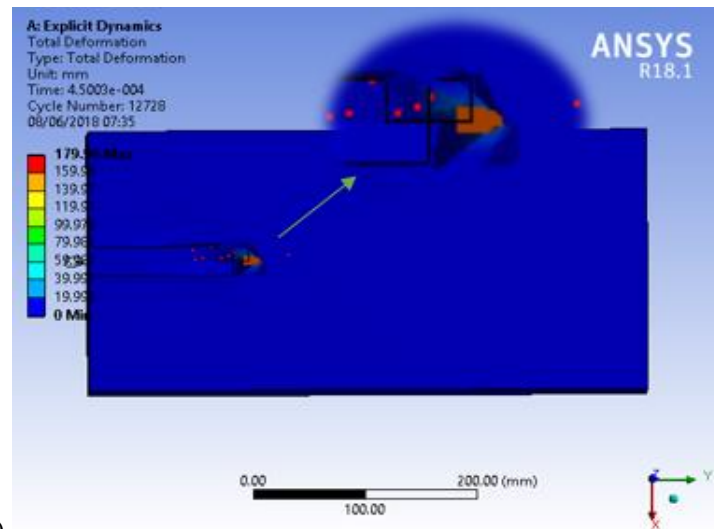
Berikut adalah gambar hasil simulasi untuk masing-masing kecepatan  $360 \text{ m/s}$ ,  $380 \text{ m/s}$  dan  $400 \text{ m/s}$  pada desain peluru I dan II.



(a).

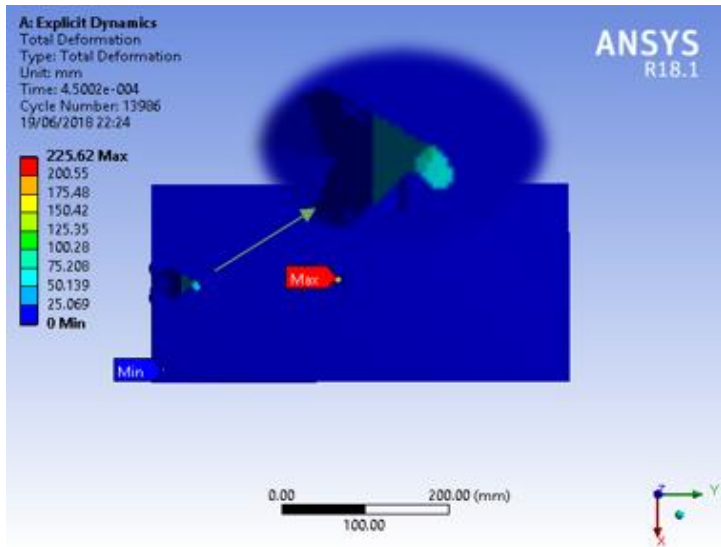


(b).

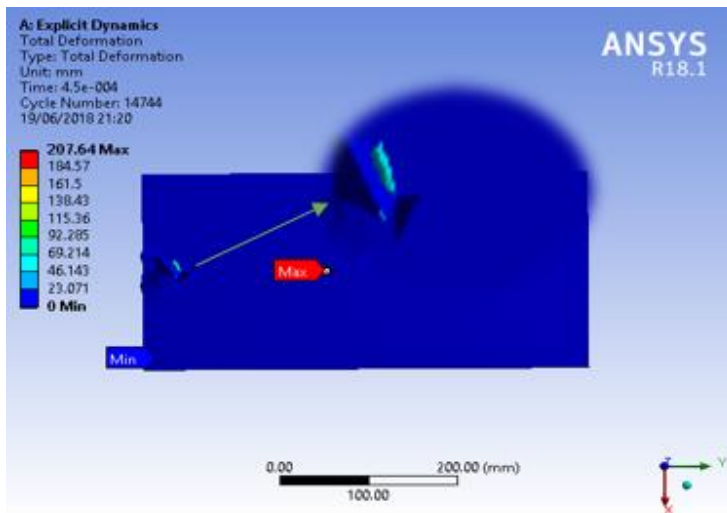


(c).

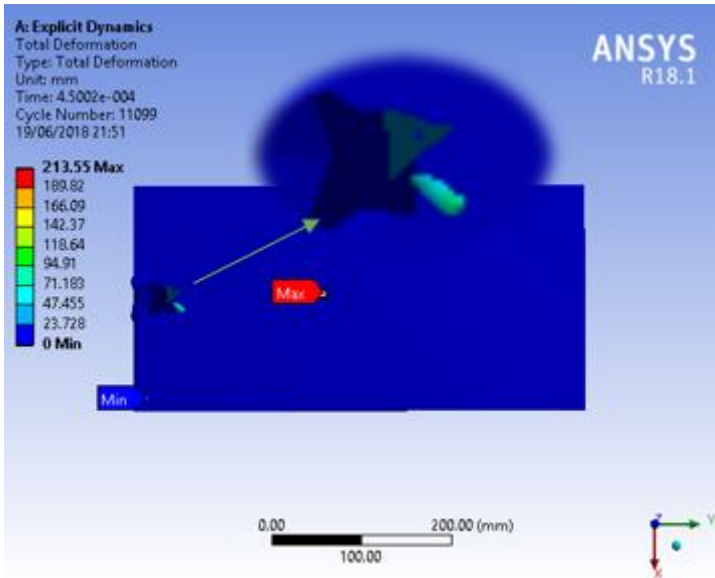
**Gambar 4.2** Hasil simulasi peluru desain I dengan kecepatan awal peluru (a) 360 m/s, (b) 380 m/s, (c) 400 m/s



(a).



(b).



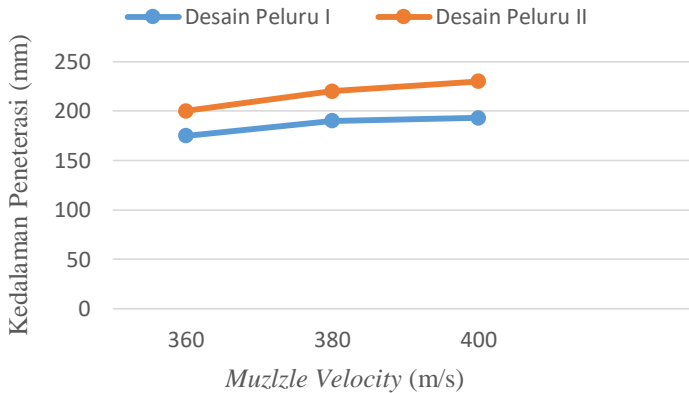
(c).

**Gambar 4.3** Hasil simulasi peluru desain II dengan kecepatan awal peluru (a) 360 m/s, (b) 380 m/s, (c) 400 m/s

Dari hasil simulasi yang telah dilakukan dengan variasi *muzzle velocity* dan desain yang berbeda didapatkan total penetrasi pada desain peluru I secara berurutan yaitu sebesar 175 mm, 190 mm dan 193 mm. Sedangkan total penetrasi yang diperoleh dari hasil simulasi desain peluru II secara berturut sebesar 200 mm, 220 dan 230 mm. Hasil total kedalaman penetrasi dari sebuah peluru menggambarkan sejauh mana peluru dapat merusak jaringan lunak tersebut. Maka semakin dalam total kedalaman penetrasi yang dihasilkan suatu peluru, maka semakin dalam pula jaringan yang dapat dirusaknya. Hasil kedalaman penetrasi pada desain I dengan variasi kecepatan 360m/s, 380m/s dan 400m/s diperoleh kedalaman penetrasi yang paling dalam adalah pada variasi kecepatan 400m/s. Sama seperti halnya pada desain peluru II, diperoleh hasil kedalaman penetrasi yang paling dalam pada variasi



kecepatan 400m/s. Berikut disajikan grafik perbandingan kedalaman penetrasi yang dihasilkan dari dua desain yang berbeda.



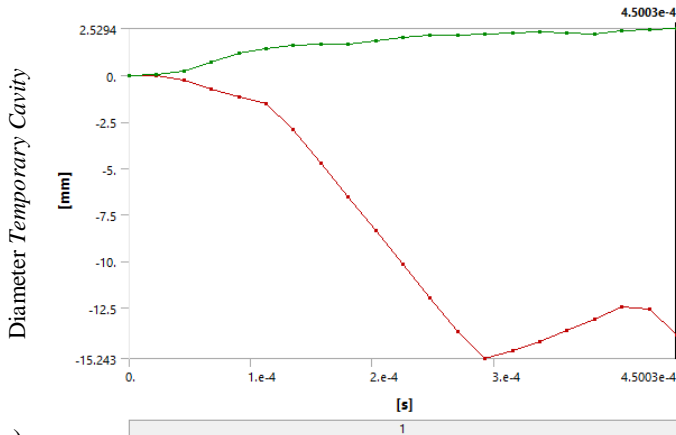
**Gambar 4.4** Grafik perbandingan kedalaman penetrasi dari dua desain peluru.

Dari Gambar 4.4 dapat dilihat bahwa desain peluru II dapat merusak gelatin lebih dalam daripada desain peluru I. Dari hasil eksperimen dan simulasi didapatkan nilai total penetrasi yang berbeda. Pada desain peluru I hasil eksperimen dan simulasi tidak jauh berbeda. Akan tetapi hasil eksperimen dan simulasi pada desain II jauh berbeda. Menurut standar FBI minimal total penetrasi yang dihasilkan peluru adalah 304.8 mm. sehingga dari kedua desain peluru tersebut tidak memenuhi spesifikasi standar FBI. Sehingga diperlukan desain baru dengan menambahkan radius kelengkungan proyektil sehingga koefisien bentuk proyektil berada pada rentang  $0.5 < i < 1$  agar memenuhi standar yang ada. Karna apabila  $i$  terlalu kecil dari 0.5, peluru tersebut tergolong peluru tajam yang berfungsi untuk mematikan, sedangkan peluru *frangible* berfungsi sebagai melumpuhkan (Metrima, 2015)

Selama peluru menembus kedalam gelatin terdapat pembentukan rongga sementara (*temporary cavity*). Ketika peluru mengenai jaringan lunak, jaringan akan bertindak seperti *fluid*

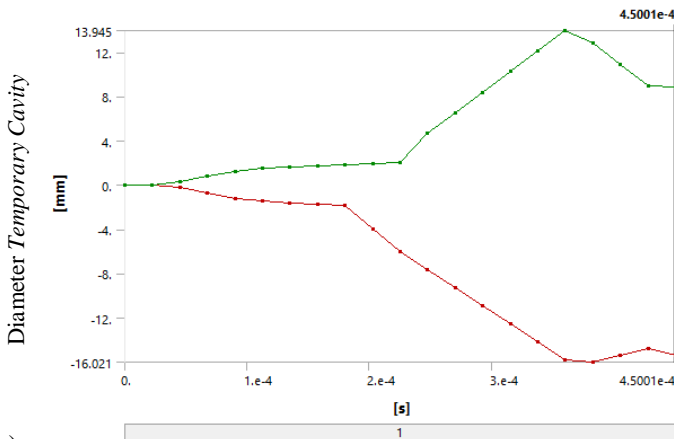


daripada *solid* karena memberi jalan agar peluru masuk dan mencoba untuk menyerap energy dari peluru. Peluru tidak langsung menembus jaringan lunak, sebaliknya peluru membuat kawah tubrukan yang membentang sampai peluru menembus jaringan. Berikut adalah gambar deformasi arah sumbu  $x$  yang membentuk *wound profile*.



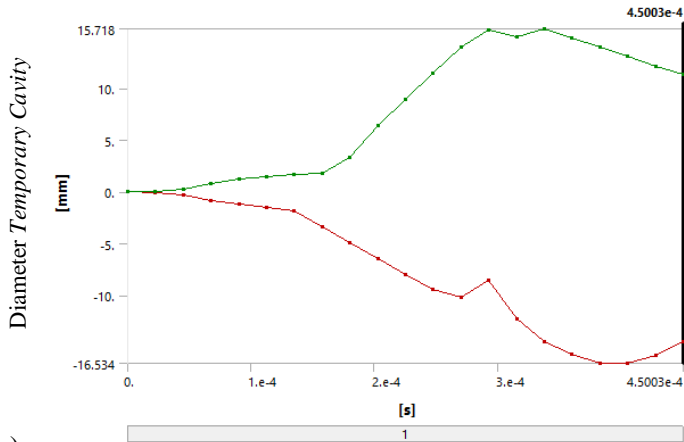
(a)

Waktu Termin (s)



(b)

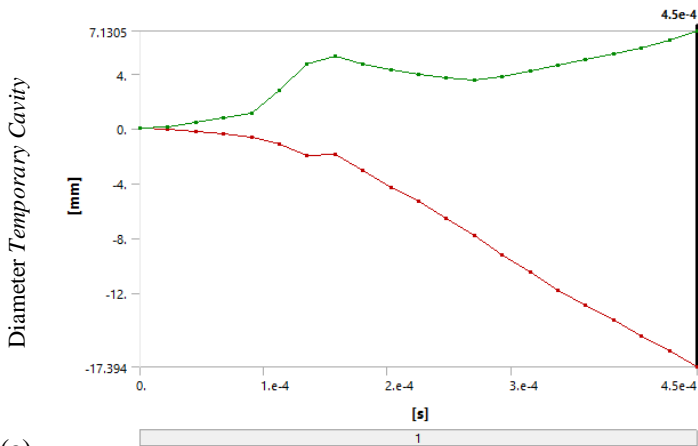
Waktu Termin (s)



(c)

Waktu Termin (s)

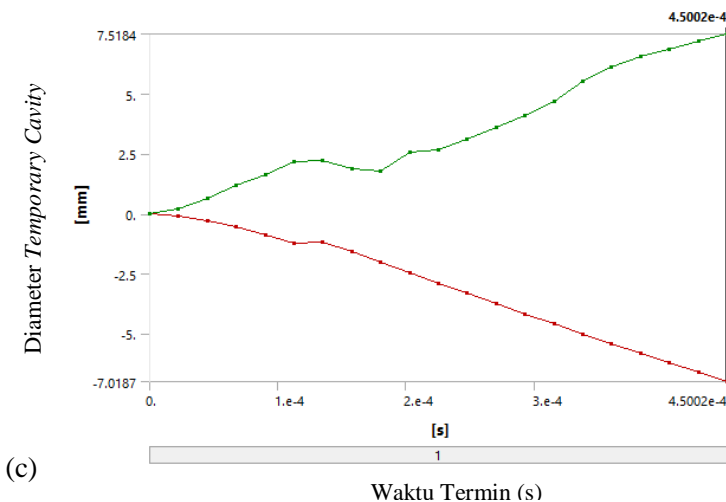
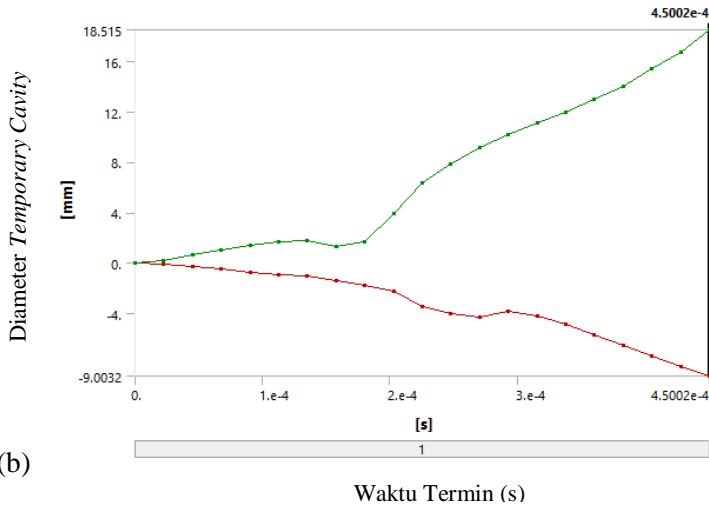
**Gambar 4.5** Grafik deformasi arah sumbu  $x$  hasil simulasi peluru desain I dengan kecepatan awal (a) 360 m/s, (b) 380 m/s, (c) 400 m/s.



(a)

Waktu Termin (s)



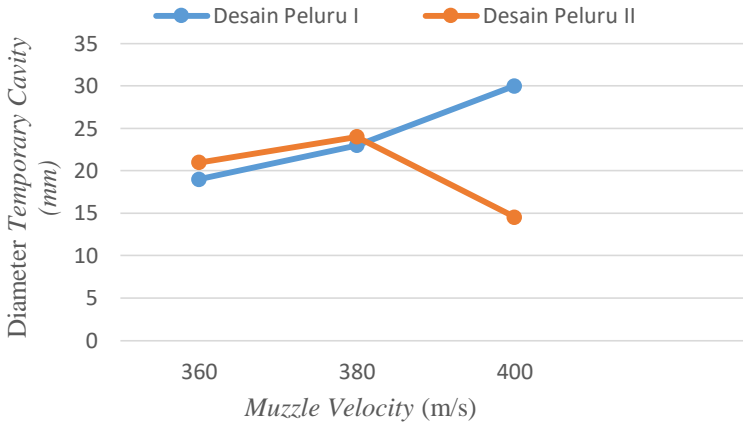


**Gambar 4.6** Grafik deformasi arah sumbu  $x$  hasil simulasi peluru desain II dengan kecepatan awal (a) 360 m/s, (b) 380 m/s, (c) 400 m/s.



Pada eksperimen *temporary cavity* dan *permanent cavity* tidak dapat dilihat karena warna dari gelatin yang tidak transparan dikarenakan ada sedikit eror dalam pembuatan gelatin, selain itu tidak adanya kamera berkecepatan tinggi yang digunakan untuk menangkap profil *cavity* dalam arah horizontal dan vertikal. Sehingga data yang ada hanya *temporary cavity* dan *permanent cavity* dari hasil simulasi.

Dari hasil pemodelan pada desain peluru I diameter *temporary cavity* secara berturut adalah 19 mm, 23 mm dan 30 mm. Diameter *temporary cavity* meningkat seiring dengan meningkatnya kecepatan. *Wound profile* terlihat jelas pada kecepatan 380 m/s dan 400 m/s. Sedangkan untuk desain peluru II diameter *temporary cavity* secara berturut-turut adalah 21 mm, 24 mm dan 11 mm. *Wound profile* tidak terlihat jelas pada variasi kecepatan desain peluru II. Saat peluru menembus gelatin, ujung peluru secara radial mendorong untuk menembus gelatin sehingga menciptakan sebuah rongga yang bergantung pada energy kinetic peluru yang di transfer ke gelatin. Semakin besar energi yang diserap oleh gelatin maka semakin besar diameter *temporary cavity*. Dimana besar energy dipengaruhi oleh kecepatan. Sedangkan nilai kecepatan sendiri dipengaruhi oleh desain peluru tersebut dengan menghitung nilai koefisien balistiknya.



**Gambar 4.7** Grafik perbandingan *temporary cavity* dari dua desain peluru.

Dari Gambar 4.7 dapat dilihat bahwa pada desain peluru I dengan variasi kecepatan diperoleh diameter *temporary cavity* yang paling besar adalah pada kecepatan 400 m/s akan tetapi sedikit berbeda dengan desain peluru II. Desain peluru II pada kecepatan 400m/s diameter *temporary cavity*nya paling kecil dibanding yang lain. Hal ini dikarenakan dari desain peluru II yang memiliki rongga di bagian hidung sehingga dengan kecepatan tinggi, peluru cenderung bergerak dalam arah yang tidak dapat diprediksi dan menyimpang dari terowongan melalui jaringan lunak (Danielle, 2010).

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan analisa data dan pembahasan pada penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa:

1. Dari hasil simulasi yang telah dilakukan dengan variasi *muzzle* velocity dan desain yang berbeda didapatkan nilai terminal balistik gelatin yang dinyatakan dengan total penetrasi pada desain peluru I secara berurutan yaitu sebesar 175 mm, 190 mm dan 193 mm. Sedangkan total penetrasi yang diperoleh dari hasil simulasi desain peluru II secara berturut sebesar 200 mm, 220 dan 230 mm. Desain peluru I diameter *temporary cavity* secara berturut adalah 19 mm, 23 mm dan 30 mm. Sedangkan untuk desain peluru II diameter *temporary cavity* secara berturut-turut adalah 21 mm, 24 mm dan 11 mm
2. Dari dua desain peluru yang ada, total penetrasi yang dihasilkan tidak sesuai dengan standar yang ada.
3. Diperlukan desain baru dengan menambahkan radius kelengkungan proyektil sehingga koefisien bentuk proyektil berada pada rentang  $0.5 < i < 1$  untuk desain peluru I agar penetrasi yang dihasilkan memenuhi standar yang ada

#### **5.2 Saran**

Beberapa saran yang diajukan penulis untuk perbaikan pada penelitian selanjutnya karena terdapat kekurangan dalam tugas akhir ini yaitu perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai model material, kriteria kegagalan, dan algoritma yang cocok agar menghasilkan pemodelan peluru *frangible* yang lebih akurat dan memperhatikan radius kelengkungan desain peluru agar mendapatkan hasil permodelan yang maksimal.



*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*



## DAFTAR PUSTAKA

- Benini, Joseph. 2000. *Frangible Metal Bullets, Amunition and Method of Making Such Articles*. USA : United States Patent.
- Benini, Joseph. 2001. *Frangible Metal Bullets, Amunition and Method of Making Such Articles*. USA : United States Patent.
- Buyuk, Murat. 2008. *Moving Beyond the Finite Elements, a Comparison the Finite Element Methods amd Meshless Methods for a Ballistic Impact Simulation*. Washington : george Washington University.
- Choi, dkk. 2011. *Numerical Study on Properties of Interior Balistic According to Solid Propellant Position in Chamber*. Korea : Inha University
- Datoc, Danielle. 2010. *Finite Element Analysis and Modelling of A.38 Lead Round Nose Ballistics Gelatin Test*. San Luis Obispo. Faculty of California Polytechnic State University.
- Firmansyah, K. M. (2015). Pengaruh Temperatur Sintering Metode Metalurgi Serbuk Terhadap Frangibility dan Performa Balistik Peluru Frangible Komposit Cu-10%wtSn. *Jurnal Teknik ITS*, 1-6.
- Germerhausen, R. 1982. *Handbook on Weaponry*. Dusseldorf : Rheinmetall
- Gita, Widyastuti. 2013. *Pengaruh Komposisi Cu dan Variasi Tekanan Kompaksi Terhadap Densitas dan Kekerasan*



*pada Komposit W-Cu untuk Proyektil Peluru Dengan Proses Metalurgi Serbuk. Surabaya. ITS.*

- Heard, J. Briand. 2008. *Handbook of Firearms and Ballistics Second Edition*. Wiley-Blackwell. UK
- Hornady. 2015. *Ammunition Test Report and Application Guide*. Hornady Manufacturing Company.
- J. Komenda, 2012. *Analysis of Ballistic Characteristics of Pistol Cartridge*. Vol. 7, No 1.
- J. Komenda, 2017. *Evaluation Method of Frangible Bullets Frangibility*. Vol. 12, No 2.
- Jonas, G H. 2015. *Mechanics and Penetrations : Analysis and Expertiment*. USA : Perganon Press Ltd.
- Joseph. 2015. *Development of Ballistic Impact Device for Measuring the Impact Energy of Powder-Metal Bullets*. Dubois. Pennsylvania State University.
- Kamil. 2017. *Analisa Numerik Balistik Impak Peluru Frangible Bullet Dengan Metode Elemen Hingga*. Surabaya. ITS
- Kreyszig, Erwin. 2006. *Advanced Engineering Mathematics Tenth Edition*. New York, University Columbus.
- Lang, David. 1998. *Frangible Amunition*. USA : United States Patent.
- Leasure, John. 2008. *Lead Free Reduced Ricochet Limited Penetration Projectile*. USA : United States Patent.
- Narayanamurthy, V., Rao, C. L., & Rao, B. (2014). *Numerical Simulation of Ballistic Impact on Armour Plate with a Simple Plasticity Model*. *Defence Science Journal* Vol 64, 55-61.



Rydlo, M. 2010. *Theoritical Criterion for Evaluation of the Frangibility Factor*. Brno : University of Defence.



## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Surabaya 3 Agustus 1995, merupakan anak kedua dari 3 bersaudara dari pasangan Bambang Suryanto dan Djumiati. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Tunas Harapan Bangsa, SD Putra Harapan Bangsa, SMP Islam Al-Amal dan SMAN 1 Surabaya. Saat ini penulis melanjutkan studinya melalui jalur SNMPTN di Departemen Teknik Material, Institut Teknologi

Sepuluh Nopember, Surabaya pada tahun 2014 dan terdaftar dengan NRP 2714100045. Di Departemen Teknik Material penulis melakukan penelitian Tugas Akhir bidang studi Metalurgi Manufaktur, pada Laboratorium Komputasi dengan judul tugas akhir **“Analisis Pengaruh Desain dan Muzzle Velocity Terhadap Terminal Balistik Peluru Frangible Dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga”**. Selama berkuliah, penulis aktif mengikuti organisasi HMMT FTI-ITS, Kepanitiaan pelatihan keterampilan di tingkat jurusan maupun fakultas. Nomor telepon penulis yang dapat dihubungi 085856284530 dengan alamat email [zehetipratiwi@gmail.com](mailto:zehetipratiwi@gmail.com).

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*